

# **GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DE SERGIPE E SUL DE ALAGOAS**

**Revisão 00**

**Dez / 2011**



**E&P**



## ÍNDICE GERAL

<b>I. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>II. METODOLOGIA</b>	<b>5</b>
<b>II.1. Levantamento de Dados Pretéritos em Escala Regional</b>	<b>5</b>
II.1.1. Inventário do Acervo Bibliográfico	6
II.1.2. Cartografia digital regional	6
<b>II.2. LEVANTAMENTO DE CAMPO</b>	<b>8</b>
II.2.1. Amostragem de sedimentos superficiais	9
II.2.2. Amostragem de Testemunhos	11
II.2.3. Levantamentos geofísicos na plataforma continental	13
<b>II.3. ANÁLISES DOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DE FUNDO</b>	<b>17</b>
II.3.1. Granulometria por peneiramento mecânico	17
II.3.2. Granulometria a laser	19
II.3.3. Carbonatos	20
<b>II.4. DATAÇÕES POR CARBONO 14 EM TESTEMUNHOS RASOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL</b>	<b>20</b>
<b>II.5. GEOPROCESSAMENTO E CARTOGRAFIA DIGITAL</b>	<b>21</b>
II.5.1. Mapa Batimétrico	21
II.5.2. Mapas Texturais	24
<b>III. MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA E NORDESTINA</b>	<b>26</b>
<b>IV. ESTUDOS REALIZADOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DE SERGIPE E ALAGOAS</b>	<b>31</b>
<b>V. PRINCIPAIS ASPECTOS DA GEOLOGIA DA BACIA DE SERGIPE E ALAGOAS</b>	<b>35</b>
<b>V.1. Evolução da Bacia</b>	<b>35</b>
<b>V.2. Substrato Geológico Regional – Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas</b>	<b>38</b>

<b>VI. GEOMORFOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DE SERGIPE E SUL DE ALAGOAS</b>	<b>42</b>
VI.1. GEOMORFOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL	42
VI.2. RELEVO DO FUNDO MARINHO	45
VI.3. CÂNIONS E DRENAGENS SUBMARINAS	50
VI.3.1. Cânions Vaza-Barris e Real	58
VI.3.2. Cânion Sapucaia	59
VI.3.3. Cânion Japaratuba	60
VI.3.4. Cânion São Francisco	63
VI.3.5. Vales Incisos	68
VI.4. FEIÇÕES MORFOLÓGICAS DA PLATAFORMA SUL DE SERGIPE	69
VI.5. FEIÇÕES MORFOLÓGICAS DA PLATAFORMA NORTE DE SERGIPE	72
VI.6. FEIÇÕES MORFOLÓGICAS DA PLATAFORMA SUL DE ALAGOAS	83
<b>VII. SEDIMENTOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DE SERGIPE E SUL DE ALAGOAS</b>	<b>89</b>
VII.1. FACIOLOGIA TEXTURAL DOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS	89
VII.1.1. Distribuição dos teores da fração cascalho	89
VII.1.2. Distribuição dos teores da fração areia	91
VII.1.3. Distribuição dos teores da fração lama	92
VII.1.4. Distribuição dos teores de carbonatos	93
VII.2. TEXTURA DOS SEDIMENTOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL DE SERGIPE E SUL DE ALAGOAS	94
VII.3. FACIOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DE SERGIPE E SUL DE ALAGOAS	97
VII.4. DIVERSIDADE DA TIPOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL E DA INTERAÇÃO TERRA-MAR	101

<b>VII.5. CONTEXTOS MORFO-SEDIMENTARES DA PLATAFORMA CONTINENTAL</b>	<b>102</b>
VII.5.1. Zoneamento transversal da plataforma continental	103
VII.5.2. Províncias morfo-sedimentares	108
<b>VIII. INTERAÇÃO CONTINENTE-OCEANO</b>	<b>127</b>
<b>VIII.1. CONTROLES MORFO-ESTRUTURAIS NA ZONA COSTEIRA</b>	<b>129</b>
<b>VIII.2. INTERAÇÃO RIO JAPARATUBA E PLATAFORMA CONTINENTAL</b>	<b>131</b>
VIII.2.1. Origem, controles e evolução tectono-sedimentar	133
VIII.2.2. Sistema deposicional costeiro - desembocadura fluvial	137
VIII.2.3. Sedimentologia da porção superficial da plataforma continental	139
VIII.2.4. Evolução sedimentar da porção superior da zona lamosa	141
VIII.2.5. Síntese da evolução tectono-sedimentar no contexto deposicional do rio Japaratuba	142
<b>VIII.3. INTERAÇÃO RIO SÃO FRANCISCO – PLATAFORMA CONTINENTAL</b>	<b>143</b>
<b>VIII.4. INTERAÇÃO TERRA-MAR NO CONTEXTO RECENTE</b>	<b>146</b>
VIII.4.1. Bacias de drenagem atuais e a plataforma continental	149
VIII.4.2. Impactos das barragens no rio São Francisco	154
VIII.4.3. Aporte de sedimentos do São Francisco para a plataforma continental	159
VIII.4.4. Alterações no delta atual do São Francisco	162
VIII.4.5. Relações entre mudanças no regime fluvial e alterações na zona costeira	169
VIII.4.6. Mudanças nos processos de dispersão e no balanço dos sedimentos na plataforma continental	171
VIII.4.7. Mudanças na pluma de sedimentos em suspensão fluvial na plataforma	173
VIII.4.8. Datação dos sedimentos lamosos platformais superficiais	175
VIII.4.9. Mudanças atuais e futuras na interação rio-mar em Sergipe e Alagoas	177

---

<b>IX. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>180</b>
<b>X. ANEXOS</b>	<b>193</b>
<b>XI. EQUIPE TÉCNICA</b>	<b>197</b>
<b>CONSULTORES</b>	<b>197</b>
<b>COLABORADORES</b>	<b>198</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura II.1.</b> Estações de amostragem das operações AKAROA e CANOPUS, BNDO, REVIZEE e UFS/PETROBRAS (2004) e dados do Projeto Águas Rasas-Geologia consideradas para elaboração dos mapas texturais e faciológicos. ____	8
<b>Figura II.2.</b> Transectos, estações amostrais e testemunhos analisados (campanha 1) _____	10
<b>Figura II.3.</b> Amostradores de sedimentos: a) Box Core (esquerda) e b) Van Veen (direita). _____	11
<b>Figura II.4.</b> Etapas da amostragem dos testemunhos _____	12
<b>Figura II. II.5.</b> Perfis de sísmica rasa na região de entorno do rio São Francisco e na Plataforma Continental sul de Alagoas e norte de Sergipe. _____	14
<b>Figura II.6.</b> Perfis de sísmica rasa na região de entorno do rio e cânion do Japarutuba e na Plataforma Continental norte de Sergipe _____	14
<b>Figura II.7.</b> Antena receptora do GPS geodésico e tela da ecossonda FURUNO. _____	15
<b>Figura II.8.</b> Perfilador de sub-fundo e computador/amplificador. _____	16
<b>Figura II.9.</b> Distribuição espacial das estações de coleta de amostras analisadas para granulometria e carbonatos, nas campanhas 1 e 2. _____	18
<b>Figura III.1.</b> Perfil fisiográfico esquemático de uma Margem Tipo "Atlântica". Fonte: Projeto REMAC _____	27
<b>Figura III.2.</b> Mapa fisiográfico esquemático da região oceânica leste Brasileira. _____	29
<b>Figura III.3.</b> Textura dos sedimentos da plataforma continental nordeste. _____	30
<b>Figura V.1.</b> Bacia de Sergipe-Alagoas e suas subdivisões. Fonte: Souza-Lima, 2006. _____	39
<b>Figura V.2.</b> Carta estratigráfica para a Sub-Bacia de Sergipe. Fonte: Campos Neto et al., 2007. _____	40
<b>Figura V.3.</b> Coluna estratigráfica da Sub-Bacia de Sergipe. _____	41
<b>Figura VI.1.</b> Mapa batimétrico da plataforma continental de Sergipe e sul de Alagoas. _____	43

<b>Figura VI.2.</b> Modelo digital de terreno, sobreposto por curvas batimétricas, com três partes integradas, cada uma delas com um exagero vertical distinto: continente, plataforma continental e talude, com delimitação dos limites entre as sub bacias sedimentares subjacentes. Podem ser observados os cânions São Francisco e Japarutuba, os vales incisos e as áreas rugosas e lisas. _____	44
<b>Figura VI.3.</b> Localização dos perfis batimétricos longitudinais e transversais realizados na plataforma continental Sergipe e Alagoas. _____	48
<b>Figura VI.4.</b> Perfis batimétricos longitudinais próximos à profundidade de 20 m. A) região ao sul (plataforma norte Sergipe) e B) ao norte do rio Francisco (plataforma sul Alagoas). _____	49
<b>Figura VI.5.</b> Perfis batimétricos longitudinais próximos à linha batimétrica de 50 m. A) região à sul (plataforma norte de Sergipe) e B) à norte do rio São Francisco (plataforma sul de Alagoas). _____	49
<b>Figura VI.6.</b> Modelo digital de terreno com destaque para os cânions submarinos do (1) São Francisco, (2) Piranhas, (3) Sapucaia, e (4) Japarutuba. _____	51
<b>Figura VI.7.</b> Perfil batimétrico longitudinal da plataforma com destaque para os cânions submarinos Japarutuba (esquerda) e São Francisco (direita). _____	51
<b>Figura VI.8.</b> Interpretação da rede de drenagem submarina na plataforma e talude continentais. _____	53
<b>Figura VI.9.</b> Principais cânions modernos na margem continental da Bacia Sergipe-Alagoas cujas escavações provocam uma retrogradação da plataforma externa. Fonte: Cainelli (1992). _____	55
<b>Figura VI.10.</b> Perfis de declividade dos cânions submarinos de Sergipe. Fonte: França (1979). _____	57
<b>Figura VI.11.</b> Detalhe batimétrico indicando os cânions Vaza-Barris e Piauí-Real. _____	58
<b>Figura VI.12.</b> Área da plataforma continental no Estado de Sergipe mostrando os canais que dão origem ao cânion Vaza-Barris. Fonte: Modificado de Zembruski et al. (1972). _____	59
<b>Figura VI.13.</b> Modelo digital de terreno com destaque para a incisão do cânion submarino Japarutuba. _____	60

- Figura VI.14.** Séries de perfis transversais derivados de perfis sísmicos no cânion Japarutuba. A forma em V desenvolvida na plataforma (A até C) passa gradualmente mar adentro para um perfil pouco expressivo, largo e raso (D até G). Fonte: Cainelli (1992). \_\_\_\_\_ 61
- Figura VI.15.** Perfil batimétrico longitudinal das cabeceiras do cânion Japarutuba com localização dos perfis de sísmica rasa. \_\_\_\_\_ 62
- Figura VI.16.** Perfil longitudinal de sísmica rasa (S1) próximo à cabeceira do cânion Japarutuba. Observar cobertura sedimentar lamosa superficial, com espessura de até 15 m. Os refletores sísmicos indicam quatro episódios de progradação do talude. \_\_\_\_\_ 62
- Figura VI.17.** Perfis longitudinais de sísmica rasa (S2) no cânion Japarutuba, entre 250 e 350 m de profundidade. Refletores no centro são possíveis sedimentos depositados por fluxos Gravitacionais. Perfil S3 entre 450-500 m de profundidade. \_\_\_\_\_ 63
- Figura VI.18.** Perfil batimétrico transversal na ramificação norte (acima) e sul (abaixo) do cânion São Francisco. \_\_\_\_\_ 64
- Figura VI.19.** Modelo digital de terreno do cânion do RSF e da zona lamosa na plataforma continental. Notar as ramificações para norte e sul. \_\_\_\_\_ 65
- Figura VI.20.** Modelo digital de terreno com destaque para a incisão do cânion submarino São Francisco na plataforma e respectiva calha submarina no talude. Fonte: PETROBRAS, 2011. \_\_\_\_\_ 66
- Figura VI.21.** Perfis sísmicos transversais derivados de perfis sísmicos ao longo do cânion e leque submarino do rio São Francisco. Fonte: Cainelli, 1992. \_\_\_\_\_ 67
- Figura VI.22.** Detalhe do mapa batimétrico da plataforma continental sul de Sergipe, na bacia sedimentar Sergipe-Alagoas, que revelam: (1 e 2) banco carbonático da borda da plataforma; (3) vale inciso do rio Vaza-Barris; (4) Foz do rio Piauí-Real e (5) vale inciso do rio Sergipe. \_\_\_\_\_ 71
- Figura VI.23.** Detalhe do mapa batimétrico da plataforma continental norte de Sergipe, que revelam: (1) a presença de um alto morfológico na região de Ponta dos Mangues, entre os setores associados à foz dos rios São Francisco e Japarutuba; (2) recife submerso da Pedra Robalo; (3) recife submerso do Grageru; (4) vale inciso do Sapucaia; (5) barra de desembocadura do rio São

<i>Francisco; (6) banco carbonático da borda da plataforma e (7) terraço da borda da plataforma.</i>	73
<b>Figura VI.24.</b> <i>Acima, mapa geológico da região costeira norte de Sergipe (modificado de CPRM, 1997) e abaixo, localização do perfil de ecosonda no alto de Ponta dos Mangues.</i>	74
<b>Figura VI.25.</b> <i>Perfil de ecosonda transversal ao alto de Ponta dos Mangues (sentido NE-SW).</i>	75
<b>Figura VI.26.</b> <i>Construções carbonáticas do topo da Pedra do Robalo.</i>	77
<b>Figura VI.27.</b> <i>Construções carbonáticas do topo da Pedra do Robalo.</i>	77
<b>Figura VI.28.</b> <i>Perfil de sísmica rasa transversal na Pedra do Robalo.</i>	78
<b>Figura VI.29.</b> <i>Perfil de sísmica rasa longitudinal na Pedra do Robalo.</i>	78
<b>Figura VI.30.</b> <i>Pedra do Grageru, com destaque para corais (gorgônias).</i>	80
<b>Figura VI.31.</b> <i>Perfis de sísmica rasa da Pedra do Grageru. Observa-se que os flancos do recife estão soterrados por sedimentos lamosos e podem ser delineado até 50 m abaixo do fundo marinho.</i>	81
<b>Figura VI.32.</b> <i>Perfil batimétrico em frente à foz do rio São Francisco, com destaque para a barra de desembocadura da frente deltaica do rio São Francisco.</i>	81
<b>Figura VI.33.</b> <i>Perfis batimétricos transversais na plataforma norte de Sergipe. À direita, destaca-se o banco carbonático da borda da plataforma. No perfil T-67, a borda da plataforma é formada por um terraço aos 40 m de profundidade.</i>	83
<b>Figura VI.34.</b> <i>Detalhe do mapa batimétrico, evidenciando as feições morfológicas: alinhamentos de recifes (1, 2 e 3), vales incisos (4 e 5) e banco carbonático da borda (6) na plataforma sul de Alagoas.</i>	84
<b>Figura VI.35.</b> <i>Perfil batimétrico com os quatro terraços identificados na quebra da plataforma e um terraço na borda da plataforma. No detalhe, perfil de sísmica rasa dos terraços de 40-50m e 60-70m.</i>	85
<b>Figura VI.36.</b> <i>Perfil batimétrico transversal da plataforma interna em frente ao Pontal do Peba, com destaque para o conjunto de recifes submersos na profundidade 5 a 18 metros.</i>	86
<b>Figura VI.37.</b> <i>Perfil sísmico transversal e mapa de localização do recife submerso na profundidade de 12 a 18 m, em frente ao Pontal do Peba. Os refletores</i>	

<i>sísmicos mostram a espessura da cobertura sedimentar moderna (até no máximo de 10 m).</i>	87
<b>Figura VI.38.</b> <i>Detalhe do perfil sísmico transversal do recife submerso na profundidade de 15 a 25 m, em frente ao Pontal do Peba, destacando o mergulho das camadas.</i>	87
<b>Figura VI.39.</b> <i>Perfil sísmico longitudinal do recife submerso na profundidade de 12-17 m, em frente ao Pontal do Peba.</i>	87
<b>Figura VI.40.</b> <i>Perfis batimétricos da plataforma sul de Alagoas. À esquerda, zona lamosa associada à foz do rio São Francisco e à direita, banco carbonático da borda. No contato entre ambos desenvolve-se uma depressão alongada de direção N-S afluyente do cânion do rio São Francisco.</i>	88
<b>Figura VII.1.</b> <i>Distribuição espacial da fração de cascalho dos sedimentos de fundo.</i>	90
<b>Figura VII.2.</b> <i>Distribuição espacial da fração areia total dos sedimentos de fundo.</i>	92
<b>Figura VII.3.</b> <i>Distribuição espacial da fração lama nos sedimentos superficiais de fundo.</i>	93
<b>Figura VII.4.</b> <i>Distribuição dos teores de carbonatos (CaCO<sub>3</sub>) dos sedimentos de fundo.</i>	94
<b>Figura VII.5.</b> <i>Mapa da textura dos sedimentos superficiais de fundo da plataforma SEAL.</i>	96
<b>Figura VII.6.</b> <i>Associações de fácies texturais-composicionais (domínios sedimentares) dos sedimentos superficiais de fundo.</i>	98
<b>Figura VII.7.</b> <i>Perfis Batimétricos com as mudanças na declividade de fundo em perfil batimétrico esquemático representativo das zonas plataformais.</i>	104
<b>Figura VII.8.</b> <i>Províncias morfo-sedimentares da plataforma continental Sergipe-Alagoas.</i>	110
<b>Figura VII.9.</b> <i>Mapas faciológico-texturais da Plataforma Continental de Sergipe, mostrando os campos de Guaricema, Caioba, Comorim, Dourado e Piranema.</i>	113
<b>Figura VII.10.</b> <i>Amostras das fácies areias lamosas. Flanco sul do Alto de Ponta dos Mangues.</i>	116

<b>Figura VII.11.</b> Mapas faciológico-texturais da Plataforma Continental de Sergipe, mostrando o campo de Salgo. _____	117
<b>Figura VII.12.</b> Perfil de sísmica rasa no contato entre a Província lamosa do rio São Francisco e a Província da Plataforma sul de Alagoas. O mapa indica a localização do perfil. _____	119
<b>Figura VII.13.</b> Perfil de sísmica rasa na plataforma externa sul de Alagoas. A unidade superior é constituída pela fácies de areias cascalhosas e cascalhos carbonáticos que formam o banco carbonático da borda da plataforma. O mapa indica a localização do perfil. _____	122
<b>Figura VII.14.</b> Mapas faciológico-texturais da Plataforma Continental de Sergipe, mostrando o campo de Paru. _____	123
<b>Figura VII.15.</b> Perfil de sísmica rasa na plataforma intermediária sul de Alagoas. _____	125
<b>Figura VIII.1.</b> Principais feições estruturais da bacia Sergipe-Alagoas lançadas no mapa do modelo digital de terreno e batimetria da região. _____	130
<b>Figura VIII.2.</b> Interpretação para origem do cânion do Japaratuba: antigo canal do rio São Francisco Coleman e Wright (1972 e1975). _____	134
<b>Figura VIII.3.</b> Imagem de satélite da região da foz do rio Japaratuba. O sentido da deriva litorânea é da direita (norte) para esquerda (sul). Fonte: Google Earth. _____	138
<b>Figura VIII.4.</b> Mapa faciológico-textural dos sedimentos de fundo na região da foz do rio Japaratuba. _____	140
<b>Figura VIII.5.</b> Mapa geomorfológico simplificado da planície costeira rio São Francisco, Fonte: modificado de Bittencourt et al (1982). _____	144
<b>Figura VIII.6.</b> Composição e extensão transfronteiriça das bacias de drenagem da área de estudo. A sub-bacia 49 do rio São Francisco incorpora a área ao norte e ao sul da divisa entre os estados de Sergipe e Alagoas e as bacias dos rios Vazabarris, Real/Piauí-Piauítinga e Sergipe ultrapassam a fronteira do Estado de Sergipe . _____	150
<b>Figura VIII.7.</b> Distribuição dos sedimentos superficiais de fundo na região sob influência direta do rio São Francisco na fase mais recente da evolução deltaica. _____	163

**Figura VIII.8.** Síntese das mudanças na posição do prolongamento subaquoso do canal fluvial, de NW-SE para NE-SW, entre 1981 e 2010. Fonte: Fontes (2009).

\_\_\_\_\_ 168

**Figura VIII.9.** Localização das amostras superficiais analisadas com granulômetro a laser (ESQUERDA) e dos testemunhos rasos estudados (DIREITA) na Província Lamosa Terrígena do rio São Francisco. \_\_\_\_\_ 176

## ÍNDICE DE TABELAS E QUADROS

<b>Tabela II.1.</b> Intervalos de coleta de amostras para datação $C^{14}$ nos testemunhos rasos e afloramentos. ....	21
<b>Tabela II.2.</b> Lista de Folhas de bordo utilizadas para elaboração do mapa batimétrico. ....	23
<b>Tabela V.1.</b> Evolução Geológica – Sedimentar das Bacias Marginais Costa Leste Brasileira. ....	36
<b>Tabela VI.1.</b> Espécies de corais identificadas na Pedra do Robalo. Fonte: Neves et al (2005). ....	76
<b>Tabela VIII.1.</b> Regiões Hidrográficas abrangidas neste estudo e os principais rios com as áreas das suas bacias e comprimento (L) que aportam a Zona Costeira Sergipe-Alagoas. As regiões hidrográficas e as sub-bacias correspondem à definição da Agência Nacional de Águas). ....	151
<b>Tabela VIII.2.</b> Regiões hidrográficas, sub-bacias, principais rios, área de drenagem e comprimento (L) e vazão média para rios que aportam a zona costeira de Sergipe-Alagoas. ....	153
<b>Tabela VIII.3.</b> Média anual, desvio padrão, mínimos e máximos da vazão da estação fluviométrica de Traipú, dos quatro estágios hidrológicos identificados através da análise de dados pretéritos da ANEEL. Fonte: Medeiros et al. (2007). ....	157
<b>Tabela VIII.4.</b> Médias anuais das cargas anuais de matéria particulada em suspensão (MPS) dos ciclos anuais Fonte: Medeiros (2003) e Medeiros et al. (2007). ....	160
<b>Tabela VIII.5.</b> Teores médios de sedimentos em suspensão no baixo curso do rio São Francisco entre 1970 e 2002. Modificado de Oliveira, 2001 (UFAL/Projeto GEF São Francisco- ANA/PNUMA/OEA). ....	161
<b>Tabela VIII.6.</b> Alterações na carga total de sedimentos transportada anualmente no baixo curso do rio São Francisco, entre 1966 e 2000, calculados em (1) PÃO DE AÇÚCAR; (2) FOZ; (3) PROPRIÁ. Fontes de dados: (1) OEA/PLANVASF	

---

(1986); Oliveira (2001). (2) Milliman (1983) e (3) PROJETO GEF SÃO FRANCISCO/UFAL (2001)..... 162

**Tabela VIII.7. Correlação entre mudanças no regime hidrológico fluvial e mudanças na região da foz do rio São Francisco. Fonte: Fontes (2009) e Fontes e Bitencurti. (2010)..... 170**



## I. INTRODUÇÃO

Um grande desafio para as empresas petrolíferas que operam no mar é a preservação do meio ambiente marinho com seus diferentes *habitats* e a busca de novos conhecimentos, tecnologias para a exploração e produção de petróleo e gás da forma mais eficaz e segura.

A superação dos desafios de utilizar recursos marinhos pode trazer impactos e efeitos ambientais, mas também importantes benefícios para o homem por meio da exploração de recursos minerais, biotecnológicos, alimentícios e ainda a possibilidade de aproveitamento de fontes alternativas de energia provenientes do mar.

Para a avaliação dos impactos ambientais marinhos é necessário conhecer os diversos *habitats* e as características dos compartimentos pelágicos e bentônicos, através de estudos geológicos, químicos, físicos e biológicos, de forma a permitir a distinção entre alterações no meio advindas das atividades petrolíferas, e de outras interferências antropogênicas ou relacionadas aos processos naturais.

Assim, a caracterização ambiental é essencial para se conhecer a situação de base do ambiente. Com o conhecimento das características e funções dos diversos ecossistemas marinhos e costeiros, é possível uma avaliação confiável e consistente das modificações ambientais decorrentes da implantação de empreendimentos e da exploração dos recursos vivos marinhos.

Aproximadamente 40% da população mundial vive nas regiões costeiras e nas últimas cinco décadas, as condições sócio-ambientais em países em desenvolvimento, a exemplo do Brasil, tem forçado a aceleração da produção industrial nestas regiões. O Brasil é um país tropical com mais de 8000 km de linha de costa apresentando muitos ecossistemas importantes, tais como recifes de corais, estuários, baías e lagunas costeiras, estando estes ambientes submetidos a múltiplos impactos de diferentes fontes antrópicas tais como: assoreamento, aterros e dragagens; transporte marítimo; exploração de recursos

minerais; descarga direta de contaminantes por emissários submarinos; aporte continental de contaminantes inorgânicos e orgânicos de fontes diversas (metais, resíduos sólidos, hidrocarbonetos do petróleo, organoclorados, praguicidas, efluentes domésticos) (NETO *et al.*, 2008).

A carga sedimentar resultante do intemperismo e erosão é produto de processos naturais que atuam em escala de tempo geológica. Porém, certas atividades humanas vêm acelerando esta escala temporal e, em conseqüência, ambientes costeiros receptores sofrem alterações profundas em seu regime sedimentar natural (PATCHINEELAM *et ali*, 2008).

Resultados de diversos estudos geoquímicos realizados nos ecossistemas estuarinos mostram que parte considerável dos contaminantes, a exemplo dos hidrocarbonetos e metais, é transportada do rio para o mar na fração particulada, sendo depositada nos sedimentos de fundo da plataforma continental e talude.

Os estudos de caracterização sedimentar marinha, com informações sobre a morfologia e faciologia, são fundamentais para a compreensão de processos geoquímicos e para o entendimento do transporte e deposição de contaminantes no mar. Em termos biológicos, a profundidade da lâmina d'água e textura sedimentar também devem ser estudados, pois influenciam a distribuição dos organismos que habitam o sedimento, organismos bênticos, bem como a distribuição de peixes demersais. Os levantamentos de dados sobre a batimetria e faciologia marinha também são importantes para o planejamento dos estudos de caracterização química e biológica, o que permite um melhor delineamento amostral e otimização do número de estações, considerando as hipóteses a serem testadas e as ferramentas estatísticas a serem empregadas.

Os estudos de geologia e geomorfologia marinha contribuem ainda para os estudos ambientais e para as atividades de exploração, produção e escoamento através de dutos, ao incluírem, entre outros, levantamento de ambientes sensíveis marinhos como recifes, corais, rodolitos, banco de laminárias e conhecimento das áreas com sedimentos lamosos. Além disto os estudos de geologia e geomorfologia marinha contribuem para orientar o planejamento amostral para os estudos de contaminantes, escolha de locais adequados para instalação de

plataformas de perfuração, raisers, unidades de produção e instalação de dutos, etc.

Desta forma, o compartimento sedimentar marinho tem sido estudado com o emprego de diferentes abordagens científicas em programas de caracterização e monitoramento ambiental. Devido suas características integradoras e pelo fato de fornecer um registro histórico dos eventos sedimentares e de deposição de constituintes químicos naturais ou antropogênicos, os sedimentos de fundo são indicados para avaliar alterações geológicas, climáticas, químicas e biológicas de média e longa duração.

Para suprir as lacunas do conhecimento sobre a morfologia e sedimentologia da Plataforma Continental de Sergipe e Alagoas, a PETROBRAS, através do Centro de Pesquisa Leopoldo Miguez de Mello (CENPES), firmou termo de cooperação com a Universidade Federal de Sergipe (UFS) e Fundação de Apoio à Pesquisa e Extensão de Sergipe (FAPESE) para desenvolver projeto de pesquisa intitulado *“Projeto Águas Rasas – Geologia”*.

Este projeto foi executado pela equipe do Laboratório Georioemar, do Núcleo de Engenharia de Pesca da UFS, com a participação de consultores da Universidade Federal Fluminense, da Universidade Estadual de Maringá e da Universidade do Texas em estreita cooperação com profissionais da PETROBRAS.

Os estudos foram realizados entre 2008 e 2011, com o objetivo de realizar a caracterização geológica e geomorfológica da Plataforma Continental de Sergipe e sul de Alagoas. O trabalho consistiu na coleta de novos dados de sedimento de fundo e batimetria na região com maior carência de informações, em área localizada entre o sul do Estado de Alagoas até a foz do rio Sergipe, seguida de caracterização integrada de toda a plataforma continental, com a integração de dados primários e secundários. Também foram realizados estudos específicos para melhor compreensão dos processos de interação terra-mar na região de influência do rio São Francisco.

O presente relatório apresenta os resultados dos estudos deste Projeto Águas Rasas – Geologia que por sua vez faz parte de um projeto maior intitulado

“Projeto de Caracterização Ambiental da Bacia de Sergipe e sul de Alagoas – PCR SEAL” acordado com o IBAMA, que fornecerá informações geológicas, físicas, químicas e biológicas do ambiente marinho de plataforma e talude.

A caracterização da plataforma continental de Sergipe e Alagoas com base na geomorfologia e sedimentologia possibilitou identificar, caracterizar e delimitar as fácies sedimentares e os contextos morfo-sedimentares e seus principais controles. Os resultados obtidos forneceram um maior detalhamento da morfologia do fundo e da faciologia dos sedimentos superficiais. As feições morfológicas e os depósitos sedimentares já conhecidos foram melhor delimitados e identificadas algumas novas feições e áreas deposicionais.

O Projeto “Águas Rasas-Geologia” avaliou ainda, de forma integrada, a interface terra-mar acoplando os compartimentos das bacias de drenagem, da zona costeira e da plataforma continental. A análise dos aportes continentais e seus efeitos na zona costeira e na plataforma continental, incorporou a avaliação das condições atuais e dos mecanismos que controlam o aporte fluvial de água, matéria em suspensão e elementos biogênicos associados.

## II. METODOLOGIA

A metodologia para a caracterização da geomorfologia e sedimentologia da plataforma continental de Sergipe e Alagoas constou do levantamento de dados pretéritos e levantamento de novos dados de campo.

Para atingir os objetivos, a metodologia foi executada de forma modular, e constou das seguintes fases:

- Levantamento de dados pretéritos em escala regional;
- Caracterização e mapeamento da Plataforma Continental sul de Alagoas e norte de Sergipe;
- Estudos da influência dos aportes fluviais na sedimentação plataformal.

Em cada uma destas fases foram executadas várias atividades cujas metodologias são descritas nos itens a seguir.

### II.1. Levantamento de Dados Pretéritos em Escala Regional

A primeira fase consistiu no levantamento do acervo e dos dados pretéritos sobre a Plataforma Continental de Sergipe e de Alagoas e as principais atividades realizadas foram: o inventário do acervo bibliográfico e cartográfico existente sobre a geologia e geomorfologia da Plataforma Continental em Sergipe e Alagoas; a organização das informações disponíveis em banco de dados georeferenciado, contendo as referências bibliográficas e os dados obtidos em campanhas oceanográficas anteriores e a elaboração de mapas temáticos com os dados pretéritos.

O objetivo desta fase foi o de realizar a análise regional das informações já existentes sobre a plataforma continental, com a caracterização geológica e geomorfológica preliminar da plataforma, incluindo os estudos referentes à zona costeira e ao delta do rio São Francisco.

### II.1.1. Inventário do Acervo Bibliográfico

Um amplo levantamento das informações disponíveis sobre os aspectos físicos naturais da plataforma continental do Estado de Sergipe e Alagoas foi realizado, constando do inventário acervos bibliográficos, cartográficos, dados e imagens existentes sobre a região nos principais centros de pesquisa do país.

O inventário do acervo existente sobre a geologia e geomorfologia da plataforma continental de Sergipe e Alagoas foi realizado com auxílio de pesquisa virtual e visitas às instituições selecionadas, além dos contatos com pesquisadores atuantes no tema e na área de estudo. As fontes de informações pesquisadas foram: *páginas* e banco de dados na internet; listagens de referências bibliográficas e acervos das bibliotecas e centros de documentação de universidades e instituições de pesquisa. Durante o inventário foi realizado o cadastramento de documentos impressos (originais ou publicados) e arquivos digitais referentes à programas de pesquisa, projetos, relatórios, teses, livros, e outros, disponíveis na internet e nas diversas instituições federais e estaduais brasileiras.

Foram também cadastradas obras de caráter geral sobre a plataforma continental brasileira ou nordestina que, direta ou indiretamente, citam a área em questão, além de obras que pela sua natureza foram identificadas como de interesse para o banco de dados do projeto.

Os dados obtidos foram transferidos para planilhas eletrônicas, de forma a possibilitar a alimentação do banco de dados georreferenciado.

### II.1.2. Cartografia digital regional

Uma nova base cartográfica digital regional foi elaborada a partir de arquivos (*shapes*) já existentes no Laboratório Georiomar (UFS) e de dados fornecidos

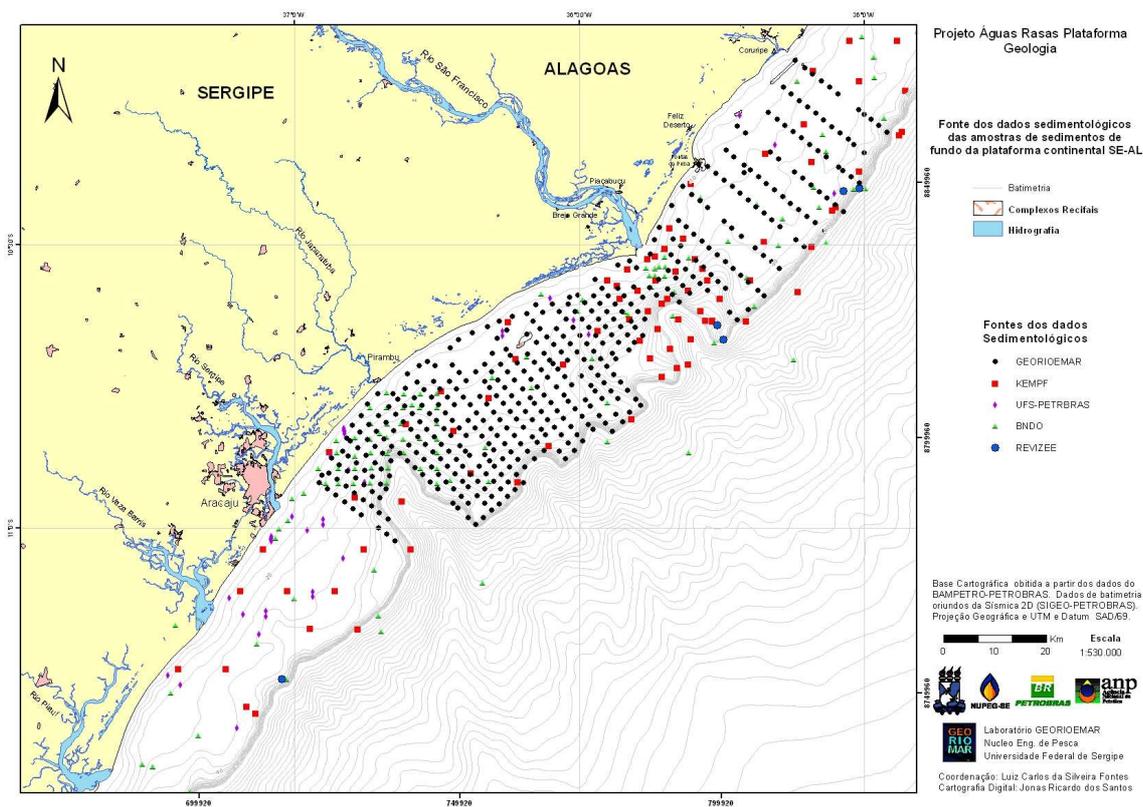
pela PETROBRAS. Essa nova base cartográfica abrangeu tanto a zona costeira como a área marinha.

Novos mapas temáticos (batimetria e sedimentologia) foram elaborados a partir da integração de diferentes fontes de dados pretéritos da Plataforma Continental de Sergipe e Alagoas. A elaboração dos mapas foi desenvolvida em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), com a utilização de interpoladores disponíveis no programa Arc Gis.

Para a elaboração dos mapas texturais foram utilizados:

- a) dados existentes no Banco Nacional de Dados Oceanográficos - BNDO da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) - Marinha do Brasil (123); b) dados do programa REVIZEE (6);
- b) dados levantados pela Universidade Federal de Sergipe (UFS/PETROBRAS - Araújo, 2004) (35);
- c) dados gerados das operações AKAROA (145) e CANOPUS (14).

A Figura II.1 apresenta a localização das estações de amostragem das operações AKAROA e CANOPUS (KEMPF, 1972), estações do programa REVIZEE e do BNDO (informações registradas no banco de dados BAMPETRO) e dados do projeto UFS e PETROBRAS.



**Figura II.1.** Estações de amostragem das operações AKAROA e CANOPUS, BNDO, REVIZEE e UFS/PETROBRAS (2004) e dados do Projeto Águas Rasas-Geologia consideradas para elaboração dos mapas texturais e faciológicos.

## II.2. LEVANTAMENTO DE CAMPO

A obtenção de dados primários e a coleta de amostras da Plataforma Continental de Sergipe e sul de Alagoas foram efetuadas através de duas campanhas oceanográficas. A primeira abrangeu a área compreendida entre a foz do rio Japarutuba (SE) ao Pontal do Coruripe (AL). A segunda campanha foi realizada em várias etapas, abrangendo os estuários e desembocaduras dos rios São Francisco e Japarutuba, áreas de recifes na plataforma e os ápices dos cânions submarinos do rio São Francisco e Japarutuba.

A campanha oceanográfica 1 consistiu no levantamento sedimentológico e batimétrico da plataforma continental norte de Sergipe e sul de Alagoas e foi realizada utilizando o navio R/V GYRE, fornecido pela PETROBRAS. Também foi

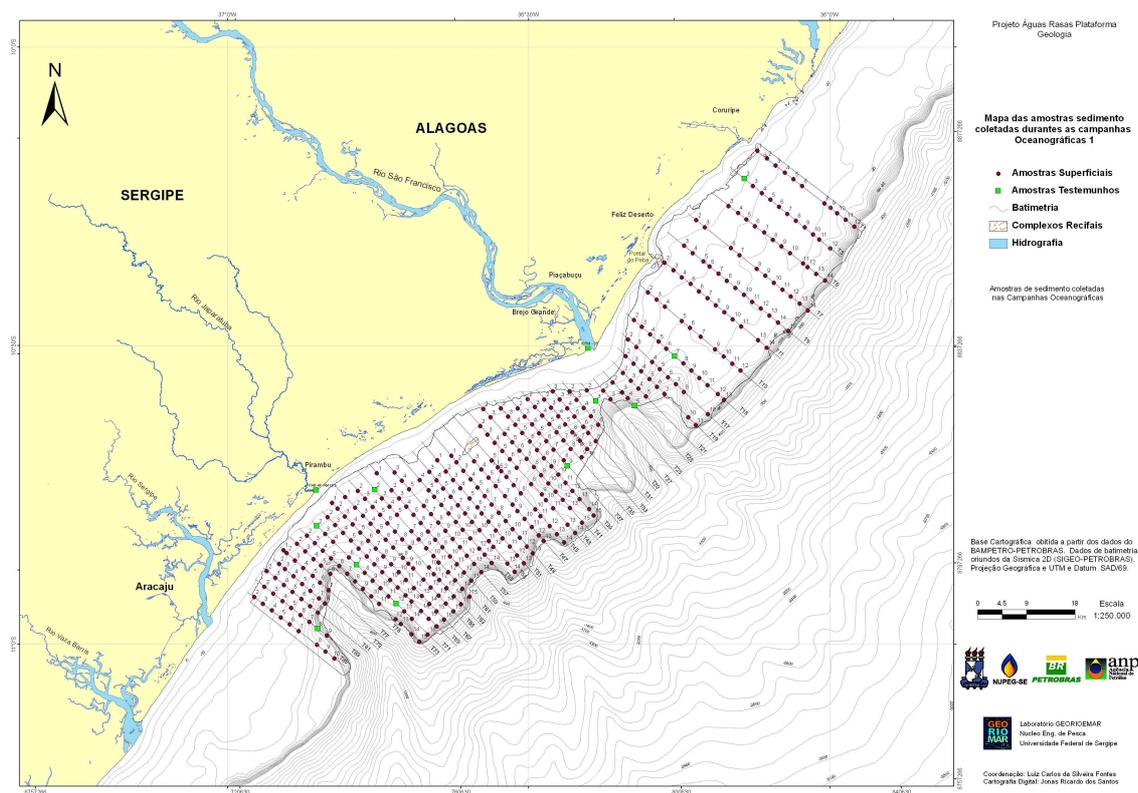
disponibilizada a equipe de profissionais da empresa C&C, responsável pela coleta das amostras.

## II.2.1. Amostragem de sedimentos superficiais

A campanha oceanográfica 1 consistiu no levantamento sedimentológico e batimétrico da Plataforma Continental norte de Sergipe e sul de Alagoas. Na área norte de Sergipe foram estabelecidos transectos com espaçamentos de 2,5 km entre si. Ao longo dos transectos foram definidas estações amostrais com espaçamento de 2 km, compondo uma malha de amostragem regular de 2,5 x 2,0 Km. Na área sul de Alagoas, o espaçamento entre os transectos foi ampliado para 5 km, mantendo-se a mesma distância entre as estações amostrais (2 km).

Os transectos foram planejados para estender-se desde a plataforma interna (isóbata de 10 m) até a plataforma externa e início do talude (isóbata de 50 m), considerada como limite aproximado da plataforma continental na região.

Foram realizadas amostragens de sedimentos do fundo em 506 estações, distribuídas em 43 transectos, que foram numerados no sentido norte-sul, utilizando-se números ímpares (T01 a T85) (Figura II.2).



**Figura II.2.** Transectos, estações amostrais e testemunhos analisados (campanha 1)

A diversidade de sedimentos no substrato plataformal motivou a utilização de dois tipos de amostradores, Box Core e Van Veen (Figura II.3). O uso do Box Core foi previsto preferencialmente para amostragem nas estações situadas em áreas de sedimentos finos e a draga Van Veen para os sedimentos grosseiros (areias e cascalhos) e carbonatos.

Foram adotados critérios para a aceitação (validação) do material coletado:

- Completo fechamento do amostrador;
- Amostrador completo ou com pelo menos 15 cm como profundidade mínima de amostra;
- Não haver evidência de “lavagem” do sedimento no interior do amostrador;
- Distribuição homogênea do sedimento no amostrador;
- Mínima perturbação do sedimento superficial.

Aproximadamente 500 g de amostras superficiais (15 cm) foram coletadas, acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas sob temperatura ambiente. Na embarcação todo o material amostrado em cada estação foi descrito quanto às características granulométricas, variações nas camadas verticais, cor, presença de organismos, estruturas sedimentares, presença de camada ferruginosa e anóxica.



**Figura II.3.** Amostradores de sedimentos: a) Box Core (esquerda) e b) Van Veen (direita).

## II.2.2. Amostragem de Testemunhos

Na campanha oceanográfica 1 foram coletadas amostras verticais (testemunhos curtos) utilizando-se Box Core, nas áreas de ocorrência de sedimentos lamosos, visando o estudo da evolução dos episódios mais recentes de sedimentação na plataforma continental. As estações para amostragem de testemunhos foram escolhidas na forma de radial, a partir da desembocadura dos

rios São Francisco e Japarutuba, com o objetivo de avaliar a influência do aporte fluvial na plataforma continental.

Nas estações selecionadas efetuou-se a amostragem vertical de testemunhos em duplicata com o uso de tubo de PVC, de 3" de diâmetro com comprimento variando de 30 a 50 cm (Figura II.4 a e b). Os tubos foram inseridos no Box Core no sentido vertical. Após a retirada do tubo do amostrador as extremidades foram cobertas com filme plástico antes de serem vedadas com fita isolante (Figura II.4 c e d). As amostras foram preservados sob congelamento, com o cuidado de manter a posição vertical original.



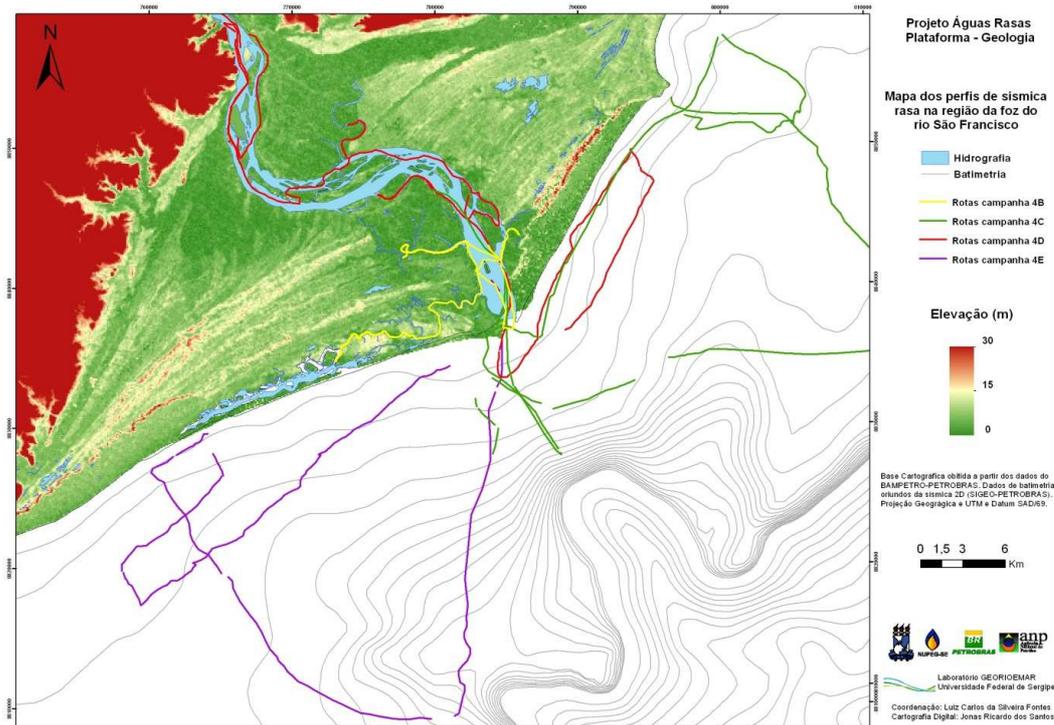
**Figura II.4.** Etapas da amostragem dos testemunhos

### II.2.3. Levantamentos geofísicos na plataforma continental

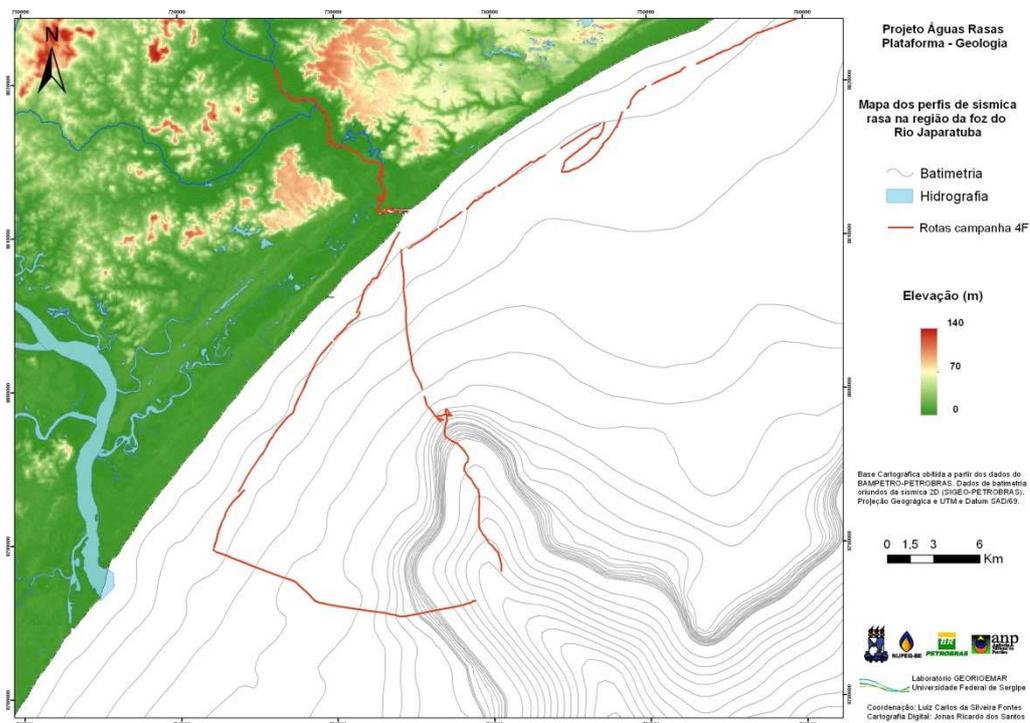
Os levantamentos geofísicos consistiram na utilização da ecobatimetria e da sísmica rasa durante as campanhas oceanográficas. O objetivo do levantamento batimétrico foi a caracterização da morfologia do fundo marinho e da sísmica rasa para obter informações em subsuperfície dos depósitos sedimentares mais recentes.

Na campanha 1 (embarcação Gyre) foi realizado um perfil batimétrico longitudinal à linha de costa, seguindo uma linha aproximadamente reta da foz do rio Japarutuba (Sergipe) ao Pontal do Coruripe (Alagoas), entre as isóbatas de 30 e 50 metros, com objetivo de registrar a topografia do fundo e realçar a presença dos cânions submarinos do Japarutuba e São Francisco.

Posteriormente, foram executados outros levantamentos batimétricos e de sísmica rasa no entorno das desembocaduras do rio São Francisco e Japarutuba e dos seus respectivos cânions submarinos, na quebra da plataforma continental na região do Pontal do Coruripe, no alto morfológico de Ponta dos Mangues e nos recifes do Pontal do Peba, Robalo e Grageru. Em algumas áreas os levantamentos batimétricos e sedimentológicos foram adensados com a realização de perfis longitudinais e perpendiculares à linha de costa (Figura II. II.5 e Figura II.6).



**Figura II. II.5.** Perfis de sísmica rasa na região de entorno do rio São Francisco e na Plataforma Continental sul de Alagoas e norte de Sergipe.



**Figura II.6.** Perfis de sísmica rasa na região de entorno do rio e cânion do Japaratuba e na Plataforma Continental norte de Sergipe

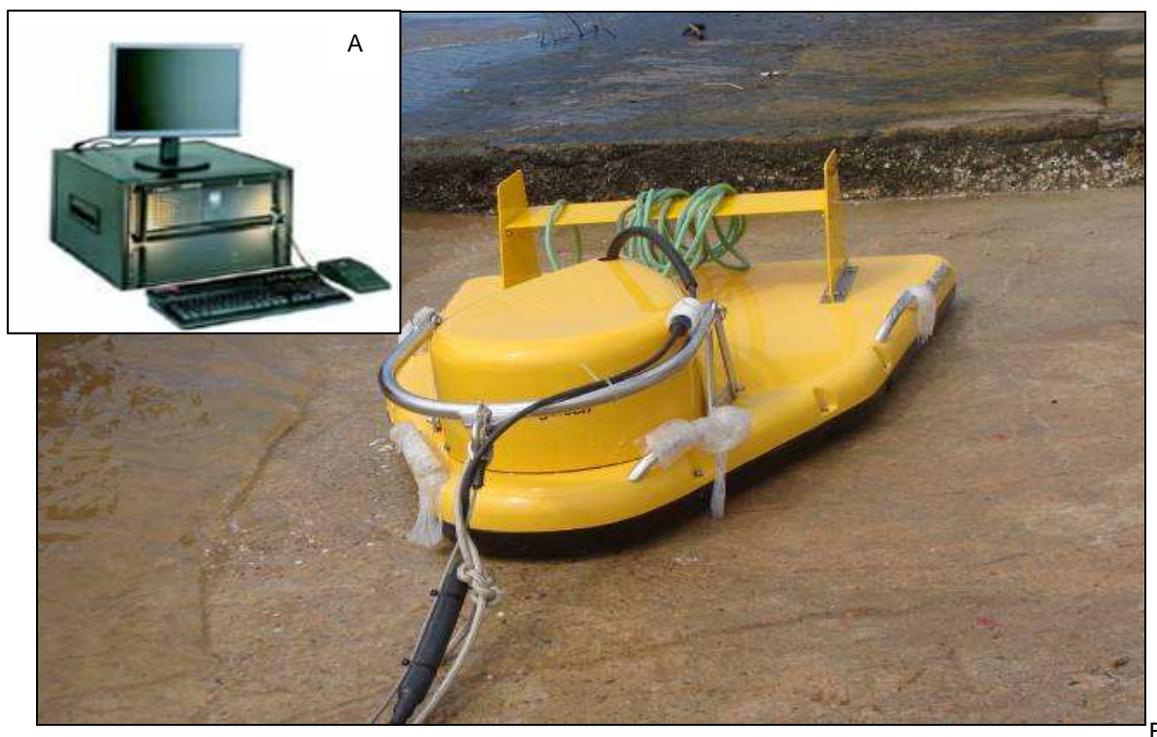
Os perfis batimétricos foram realizados com a ecossonda Furuno GP1650/DF (50/200 kHz) acoplada a um notebook. A ecossonda possui uma antena de GPS capaz de trabalhar com 12 canais. O aparelho registra e envia ao computador instantaneamente a posição, velocidade e rumo do barco. Para o georeferenciamento das seções geofísicas e coleta de amostras foi utilizado um GPS geodésico RTK TRIMBLE, acoplado diretamente ao computador (Figura II.7).



**Figura II.7.** Antena receptora do GPS geodésico e tela da ecossonda FURUNO.

Para o levantamento dos dados de sismica rasa foi utilizado um perfilador de subfundo (SBP), que consiste na emissão e recepção de pulsos acústicos para identificação de camadas (refletores) que apresentam alto contraste de impedância acústica. O equipamento utilizado foi o sistema 3200-XS, modelo SB-512i, da Edgetech (Figura II.8), composto por uma plataforma integrada de computador-amplificador interligada por um cabo de comunicação com um veículo hidrodinâmico dotado de sensores (emissor de sinal acústico e receptores hidrofones). Este equipamento trabalha com intervalo de frequência de 0,5 a 15 kHz, com penetração máxima, de acordo com informações do fabricante, de 30 metros para calcário e areia grossa e 250 metros para argila mole.

Os dados foram pré-processados *in situ* com a utilização do programa *Discover Sub-Bottom*, incorporando as coordenadas dos pontos de aquisição e que de forma instantânea gera os perfis sísmicos. A visualização do perfil sísmico simultaneamente à aquisição permite monitorar a qualidade dos dados e uma interpretação preliminar, de forma a tomar decisões sobre eventuais mudanças em relação ao planejamento da trajetória de navegação e dos parâmetros de aquisição.



**Figura II.8.** Perfilador de sub-fundo e computador/amplificador.

## II.3. ANÁLISES DOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DE FUNDO

As análises realizadas nas amostras coletadas na campanha oceanográfica 1 e 2 foram a granulometria por peneiramento mecânico e por granulometria a laser nos sedimentos lamosos (detalhamento das zonas lamosas) e determinação do teor de carbonatos.

### II.3.1. Granulometria por peneiramento mecânico

As análises granulométricas através do peneiramento mecânico foram realizadas em 433 amostras superficiais (0-15 cm) de acordo com método descrito por Suguio (1973). A Figura II.9 apresenta a distribuição espacial das estações de coleta de amostras das campanhas 1 e 2 que foram analisadas para granulometria e carbonatos.

Todas as amostras foram secas na estufa a temperatura de 60 graus por no mínimo 24 horas. Após secagem as amostras foram pesadas e passadas na peneira 4 mm para separação do cascalho/seixos. As frações que passaram na peneira 4 mm foram homogeneizadas, quarteadas sucessivamente e retirada à quantidade aproximada de 200 gramas para lavagem e posterior análises granulométricas e de carbonatos. As amostras foram lavadas para retiradas do excesso de sal e novamente secas na estufa a 60 graus por 24 horas. O restante das amostras foi guardado em estoque.

As amostras de sedimento passaram por peneiramento mecânico, em intervalos de  $\frac{1}{2} \phi$  (phi), a fração de 0,062 a < 4,00 mm (lama a granulo) e os sedimentos da fração > 4,00 mm (seixos/cascalhos) por medição direta, seguindo o método de Suguio (1973). Adotou-se a escala de Wentworth (1922) para classificação do tamanho dos grãos.

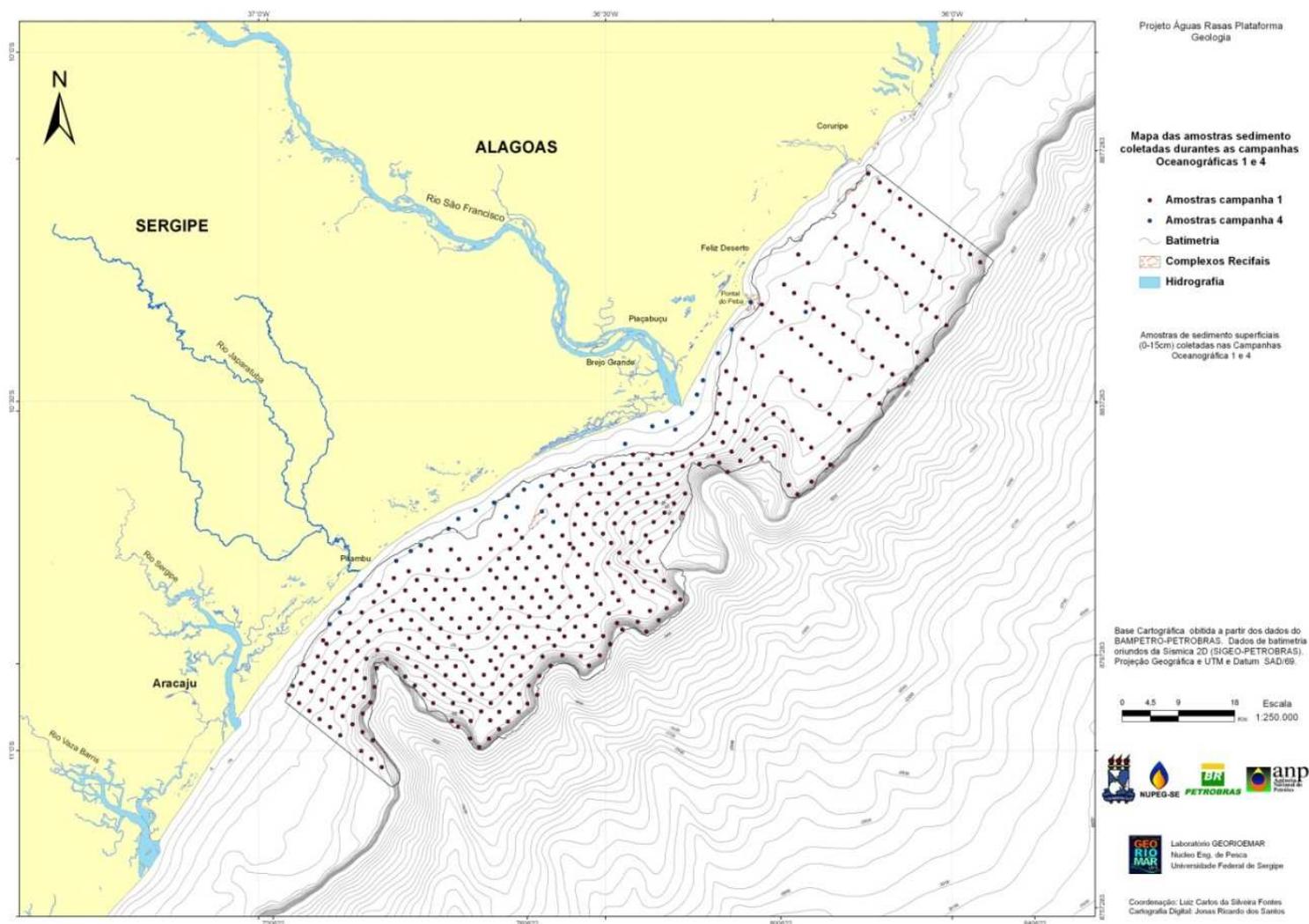


Figura II.9. Distribuição espacial das estações de coleta de amostras analisadas para granulometria e carbonatos, nas campanhas 1 e 2.

Os dados obtidos por peneiramento mecânico para cada classe de sedimento foram integrados àqueles obtidos por medição direta. Estes foram lançados em planilha padrão, para cálculos de pesos retidos em cada peneira, % de pesos retidos e % de peso acumulado.

Para o cálculo das análises estatísticas utilizou-se o programa denominado AGRAN (Queiroz, *no prelo*) com rotina de análise granulométrica elaborado em ambiente MATLAB, que permite extrair resultados gráficos e numéricos referentes às características do tamanho do grão.

Os parâmetros estatísticos granulométricos gerados segundo o método de Folk & Ward (1957) foram o diâmetro médio (Mz), mediana (Md), grau de selecionamento ou desvio padrão ( $\sigma$ ), assimetria (Ski) e curtose (Kg) percentuais de lama, areia, cascalho e a classificação textural segundo Shepard (1954), sendo estes dados extraídos em planilha eletrônica, juntamente com as localizações geográficas de cada amostra.

### II.3.2. Granulometria a laser

As amostras das zonas lamosas da plataforma continental associadas às desembocaduras dos rios São Francisco e Japarutuba foram submetidas à análise granulométrica, com o emprego do granulômetro a laser, num total de 100 amostras.

As análises foram realizadas em laboratório externo (G2 Meio Ambiente) utilizando granulômetro a laser da marca CILAS. A maior parte das amostras usadas com esta técnica se situam na fração lama (< 0,062 mm) e os dados foram reportados em percentuais em peso das classes de sedimentos que variaram desde areia muito grossa até argila muito fina (2,0 a <0,00049 mm).

### II.3.3. Carbonatos

Faram feitas determinação dos teores de carbonatos para 415 amostras coletadas na campanha oceanográfica 1.

Para a determinação dos carbonatos foi empregado o método gravimétrico, que consiste na determinação do teor em carbonato de cálcio por diferença ponderal após ataque com HCl diluído (10%), segundo Briggs (1977), Loring e Rantala (1992), Marinoni *et al.*, (2000) e Ryba e Burgess (2002).

### II.4. DATAÇÕES POR CARBONO 14 EM TESTEMUNHOS RASOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL

Foram realizadas análises de datação por Carbono 14 em 10 testemunhos rasos coletados durante a campanha oceanográfica 1, nas zonas de sedimentos lamosos sob influência dos rios São Francisco e Japarutuba.

Por ser um elemento com grande tempo de meia-vida e estar presente nos seres vivos, que o consome durante a sua existência, o carbono é utilizado em trabalhos geocronológicos, permitindo datar seres que viveram até 50.000 anos antes do presente. Na execução desse tipo de datação é necessário conhecer a concentração desse componente no ser no momento de sua morte, já que é a partir daí que o corpo deixa de absorver esse elemento, passando apenas a liberá-lo.

Os restos de organismos (carapaças) encontrados na base dos testemunhos (últimos 4 cm foram submetidos à análise de Carbono 14. Os organismos encontrados na maioria dos testemunhos foram os moluscos (bivalves).

As datações foram realizadas no Laboratório Beta Analytic na Flórida (EUA), através do método de Espectrometria de Massas com Aceleradores – AMS, o qual exige uma quantidade mínima de material para análise de 0,045 g.

Também foram datadas duas amostras de organismos obtidas em superfície na zona costeira durante a segunda campanha. Uma amostra de concha completa foi retirada do afloramento de arenitos litificados localizado na foz do rio Japarutuba e outra de restos de vegetais (madeira) retirada do afloramento de lama localizada na linha de praia do povoado Cabeço, na foz do rio São Francisco. A Tabela II.1 apresenta o códigos dos testemunhos e as profundidades das amostras analisadas para Carbono 14.

**Tabela II.1.** Intervalos de coleta de amostras para datação  $C^{14}$  nos testemunhos rasos e afloramentos.

Amostra	Profundidade (cm)
T3-2	14-15
T15-7	16-22
T23-5	16-20
T27-3	20-25
T37-9	12-24
T61-2	20-22
T71-2	30-32
T71-7	28-30
T71-12	26-28
T83-8	40-42
ICRM – 05	Afloramento
PAR-4F-AM18 b	Afloramento

## II.5. GEOPROCESSAMENTO E CARTOGRAFIA DIGITAL

### II.5.1. Mapa Batimétrico

Durante o desenvolvimento do projeto de pesquisa detectou-se a necessidade de elaboração de um novo e mais detalhado mapa batimétrico para a área de estudo, com intervalos entre as linhas de profundidade de forma a destacar as variações de relevo submarino e as feições morfológicas.

O novo mapa batimétrico foi integrado com os *shapes* da linha de costa, hidrografia, limites estaduais e principais cidades. O relevo continental foi destacado através da geração de um modelo digital de terreno, o que permitiu uma melhor visualização da integração entre as feições continentais e marinhas.

Os dados batimétricos utilizados para a elaboração de um novo mapa batimétrico da Plataforma Continental de Sergipe e Alagoas, entre o rio Piauí (Sergipe) e Coruripe (Alagoas), foram:

- Dados da campanha oceanográfica 1, que consistiram em 3 perfis batimétricos (1 perfil longitudinal e 2 transversais) e dados de cada estação de amostragem, obtidos com a embarcação Gyre. O equipamento utilizado foi a ecossonda ODOM Echotrac modelo MK-III, conectado a um DGPS (*Diferencial Global Position System*).
- Dados das Folhas de Bordos da Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN da Marinha do Brasil, armazenados no banco de dados BAMPETRO e dados fornecidos pela DHN. Este conjunto de dados corresponde à maior densidade de pontos de medidas de batimetria da área. Foram processadas 76.645 medidas de batimetria obtidas nas folhas de bordo de acordo com a Tabela II.2.
- Dados batimétricos obtidos com Ecossonda Furuno na campanha oceanográfica 2, entre a desembocadura do rio São Francisco e o Pontal do Peba (Al).

Os pontos batimétricos foram adicionados ao ambiente SIG para avaliar a distribuição dos 77.071 pontos de batimetria das Folhas de Bordo. Em seguida realizou-se uma avaliação dos dados que resultou na eliminação de 401 pontos de profundidade que apresentaram uma discrepância de profundidade em relação à localização ou à sua vizinhança.

**Tabela II.2.** Lista de Folhas de bordo utilizadas para elaboração do mapa batimétrico.

Código da FB	Toponímia	Ano	Escala	Nº de pontos
FB-1000-001/78	Barra de Propriá	1978	1:25000	12031
FB-1000-001/77	Maceió à barra do rio São Miguel	1977	1:40000	5320
FB-1000-001/81	Pesquisa de perigo a ENE da Foz do rio Real	1981	1:25000	705
FB-1000-002/77	Barra do rio São Miguel	1977	1:40000	6195
FB-1000-003/77	De Poxim ao Pebá	1977	1:50000	7278
FB-1000-03/78	Da Barra de Propriá à Barra de São Cristovão	1978	1:25000	8781
FB-1000-004/61	Pontal do Coruripe à Foz do rio São Francisco	1977	1:80000	4054
FB-1000-004/77	De Poxim ao Pebá	1977	1:50000	2577
FB-1000-004/78	Da Barra de São Cristovão à Barra da Estância	1978	1:50000	5623
FB-1000-007/77	Da Barra do RSF À Barra de Propriá	1977	1:50000	7854
FB-1000-007/78	Da Barra da Estância ao rio Inhambupe	1978	1:150000	1634
FB-1000-008/77	Da Barra do RSF à Barra de Propriá	1977	1:50000	7656
FB-1000-008/78	Da Barra da Estância ao rio Inhambupe	1978	1:150000	397
FB-1000-009/77	Da Barra do RSF À Barra de Estância	1977	1:150000	2352
FB-1002-001/81	Barra do RSF do Norte	1981	1:20000	4188

Os pontos cotados foram vetorizados para arquivo *shape* que, posteriormente, passou por uma série de testes de interpolação, procurando encontrar o melhor método de representação do relevo marinho da área estudada. Dentre os métodos utilizados, o método de interpolação Vizinho Natural (*Natural Neighbor*) foi o método que apresentou maior êxito na forma de representação.

O interpolador “Vizinho Natural” é um método diferente das demais técnicas, uma vez que não extrapola valores, resolvendo a interpolação somente para o interior do domínio dos dados. Esta técnica utiliza polígonos Thiessen para

avaliação de pesos para os pontos e faz a interpolação através da média ponderada dos pontos vizinhos, onde os pesos são proporcionais às áreas proporcionais (MAZZINI e SCHETTINI, 2009).

Na geração do mapa batimétrico foi utilizado o tamanho da célula de 50 m x 50 m. Os outros parâmetros foram mantidos como *default* do programa.

## II.5.2. Mapas Texturais

Inicialmente os dados das campanhas oceanográficas foram digitalizados em planilhas eletrônicas e, posteriormente, foram inseridos em ambiente SIG. Os parâmetros texturais analisados foram o percentual de cascalho, areia e lama.

Para a elaboração dos mapas texturais com os dados pretéritos da plataforma norte de Sergipe e sul de Alagoas tomou-se o cuidado de verificar a compatibilidade entre os dados, tendo em vista que as informações eram oriundas de diversas fontes que, por vezes, utilizaram metodologias de análise diferentes.

Para a elaboração dos mapas texturais da distribuição dos teores de lama, areia e cascalho e o mapa da textura dos sedimentos de fundo foi utilizado a classificação de Shepard (1954). Os dados pretéritos de diversas fontes e estudos (Kempf, 1972; BNDO-DHN; UFS/PETROBRAS (2004); REVIZEE, 1995) foram integrados aos dados gerados pelo Projeto Águas Rasas - Geologia. Ao total foram compilados dados gerados por 787 amostras de sedimento. Os dados não estão distribuídos de forma homogênea na área de estudo, com adensamento de informação na área compreendida entre o rio Sergipe e Coruripe (AL), em função do extenso levantamento realizado no âmbito do presente projeto.

Foram testados diversos métodos de interpolação de dados para representar o comportamento da variável na forma de isolinhas. O método de interpolação que apresentou o melhor resultado foi o *Spline*. Este método utiliza uma expressão polinomial para ajustar uma superfície analítica que inclua todos os pontos de amostragem disponíveis, tendo como objetivo a interpolação dos

valores para cada célula da grade, gerando uma superfície na qual a declividade em todos os pontos seja obtida com a minimização da curvatura total. O resultado dessa interpolação é uma superfície suavizada (ANDRIOTTI, 2005).

Para a elaboração dos mapas texturais utilizou-se o tamanho da célula de 100 m x 100 m, outros parâmetros foram mantidos como padrão do programa.

### III. MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA E NORDESTINA

A margem continental brasileira é classificada como do tipo Atlântica (margem passiva) e compreende uma área total de 5.003.397 km<sup>2</sup>, equivalente a 59 % do território brasileiro emerso (Figura III.1) (COUTINHO, 1996). As principais características morfológicas da plataforma continental são:

- Costa relativamente baixa e de relevo moderado;
- Estabilidade tectônica (não ocorre significativa movimentação nem vulcanismo);
- Províncias fisiográficas da margem continental e bacia oceânica, até a cordilheira meso-atlântica, bem desenvolvidas (Figura III.2).

A porção mais estreita da plataforma continental brasileira encontra-se no setor Nordeste, com largura média de 35 a 40 km e profundidades máximas em torno de 50 metros. A plataforma continental de Sergipe e Alagoas é pouco profunda e se caracteriza por sua reduzida largura, sendo mais estreita no extremo sul de Sergipe (20 km de largura) e mais larga no extremo norte de Alagoas (38 km de largura), onde predominam os sedimentos carbonáticos.

Os levantamentos batimétricos anteriores a 1966 forneceram uma vaga idéia da fisiografia da margem continental brasileira. O primeiro trabalho fisiográfico reunindo os dados exploratórios da PETROBRAS e o *Hydrographic Office* dos Estados Unidos foi elaborado por BARRETO e MILLIMAN (1969). Posteriormente, MARTINS *et al.*, (1972), definiram várias províncias topográficas e inferiram algumas relações entre as feições da margem continental brasileira.

A morfologia da Plataforma Continental de Sergipe e Alagoas apresenta um relevo suave e com variações de largura devido à presença de cânions submarinos. A margem continental da região é cortada por dois grandes cânions São Francisco e Japarutuba, ambos localizados no setor norte de Sergipe. Na região entre Aracaju e Maceió, a plataforma é cortada por paleo-sistemas de

canais bem desenvolvidos (França *et al.*, 1974) que ainda estão preservados, sendo possível sua identificação através da morfologia de fundo.



**Figura III.1.** Perfil fisiográfico esquemático de uma Margem Tipo "Atlântica". Fonte: Projeto REMAC

Analisando os resultados dos estudos sedimentológicos na plataforma continental brasileira, Martins *et al.* (1972) distinguiram os seguintes regimes de sedimentação:

- Plataformas com sedimentação terrígena, proveniente de grandes bacias de drenagens, sendo bem ilustrada pela plataforma amazônica;
- Plataformas cobertas por sedimentos biogênicos e biodetríticos, resultantes de uma intensa atividade organogênica. Sendo a plataforma do Nordeste um exemplo típico;
- Plataformas atapetadas por sedimentos relíquias, recebendo uma pequena contribuição atual ou sofrendo retrabalhamento, como é o caso da plataforma do rio Grande do Sul.

Como será demonstrado nos itens a seguir, a plataforma de Sergipe e Alagoas reúne características destes três regimes de sedimentação.

A plataforma continental na região Norte e Nordeste do Brasil apresenta uma ampla ocorrência de algas calcárias. Estas algas representam a mais extensa cobertura de sedimentos carbonáticos nos setores médio e externo da plataforma (DIAS, 2000), devido á baixa contribuição continental e ao clima tropical. Os sedimentos da plataforma média e externa são geralmente grosseiros (Figura III.3), com os cascalhos predominando na plataforma média entre o cânion São Francisco e o platô do Rio Grande do Norte, enquanto as areias são predominantes a oeste da costa da cidade de Macau e ao sul do cânion São Francisco (FRANÇA *et al.*, 1976).

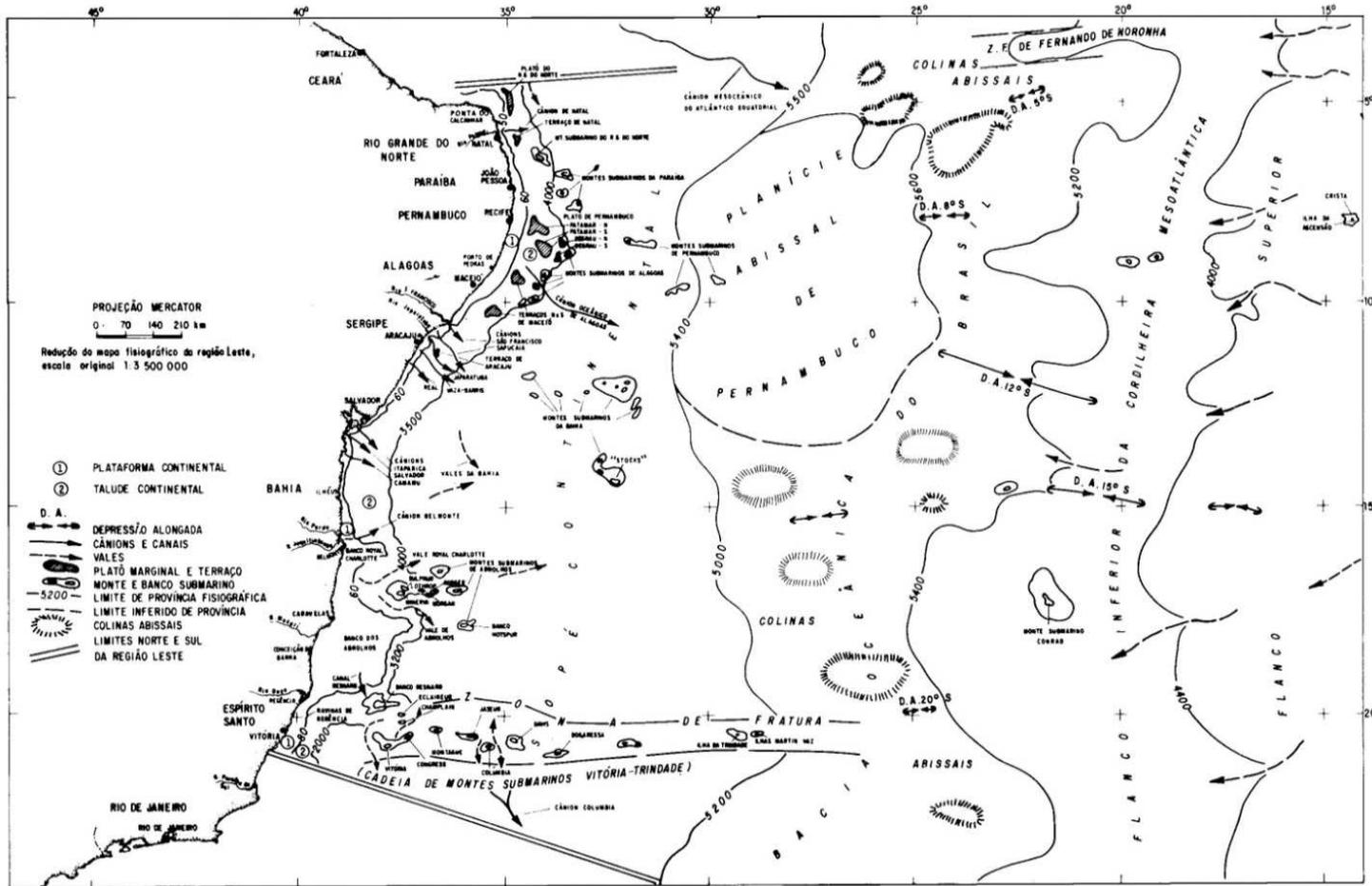
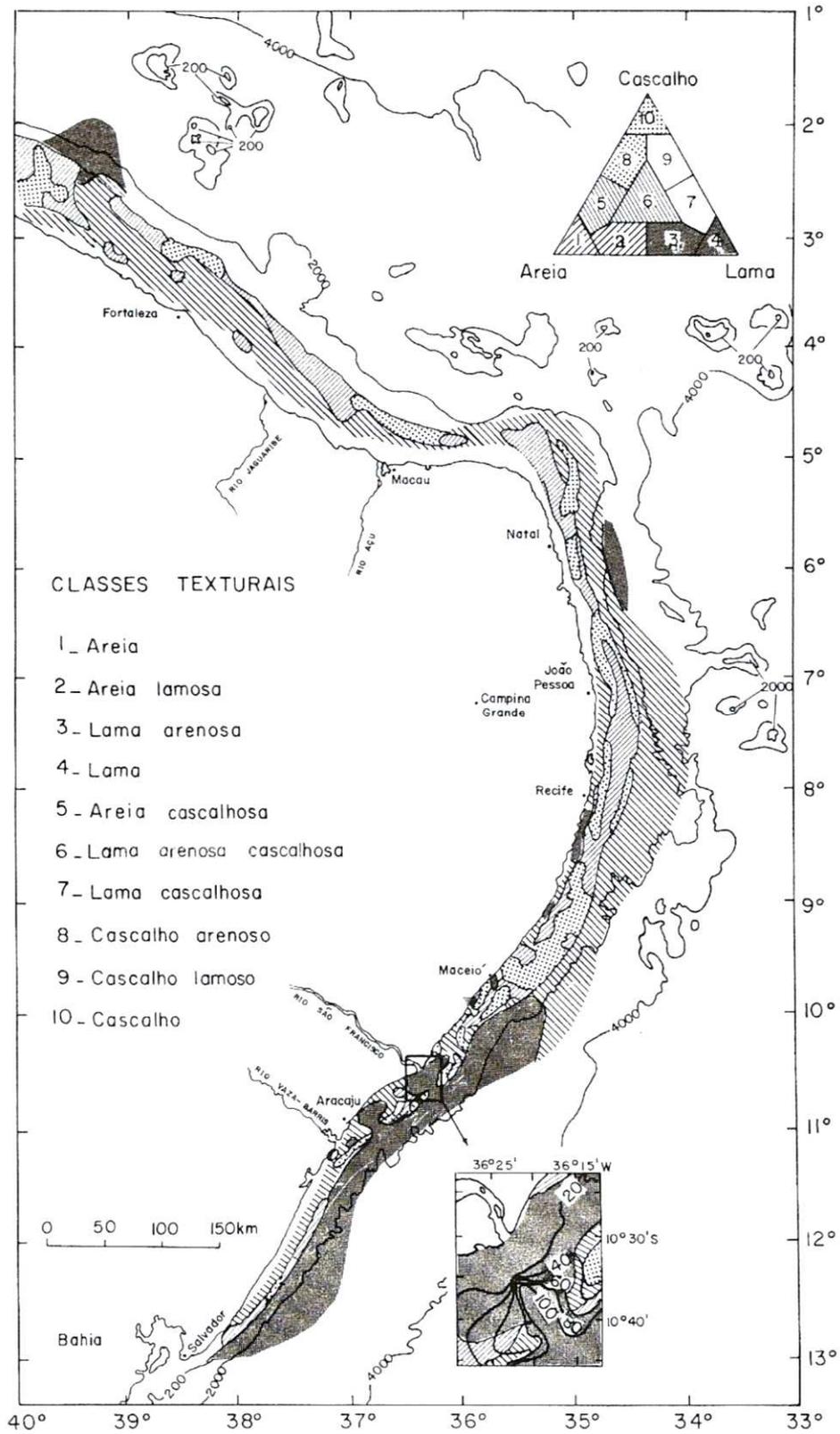


Figura III.2. Mapa fisiográfico esquemático da região oceânica leste Brasileira.  
Fonte: projeto REMAC (1979).



**Figura III.3.** Textura dos sedimentos da plataforma continental nordeste.  
Fonte: FRANÇA et al., 1976

## IV. ESTUDOS REALIZADOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DE SERGIPE E ALAGOAS

A margem continental ao longo de Sergipe e Alagoas já foi alvo de diversos estudos, tendo sido um dos primeiros aquele realizado durante a passagem do navio inglês HMS Challenger em 1873, liderado pelo naturalista Wyville Thompson, que contava também com apoio dos naturalistas John Murray e Henry Mosely. Em cada estação de trabalho a equipe fez observações sobre a profundidade, temperatura da água, além de coleta de água, fauna e amostras de fundo.

Entre Maceió e a foz do rio São Francisco foram coletadas informações em cinco estações, entre 1.280 e 3.136 m de profundidade de lâmina d'água, e o sedimento reportado foi lama vermelha. Pela disposição das estações havia especial interesse na foz do rio São Francisco e, é provável, que três destas estações tenham sido realizadas dentro do cânion São Francisco.

Posteriormente, entre 1925 e 1927 o navio alemão Meteor realizou 13 perfis topográficos por meio de sonda acústica, sendo 9 deles no Brasil. Os resultados desta expedição permitiram pela primeira vez visualizar a presença da cordilheira meso Atlântica, um dos pontos fundamentais para a formulação da teoria da tectônica de placas. Além dos perfis, foram coletadas amostras de sedimento e água.

As décadas de 60 e 70 corresponderam ao período do grande impulso dos levantamentos geológicos, geomorfológicos e sedimentológicos da plataforma continental brasileira.

Ao final da década de 60 e início da década de 70 foram iniciadas expedições com o navio Oceanográfico Almirante Saldanha, dentre elas as operações Leste, Nordeste, Geomares, Geocosta, conduzidas pela Marinha do Brasil junto com as universidades brasileiras, com o propósito de mapear a margem continental. Também na década de 70 foram iniciados os cruzeiros do projeto REMAC, projeto de reconhecimento da margem continental brasileira, desenvolvido pela PETROBRAS e com participação de pesquisadores estrangeiros da Woods Hole

Oceanographic Institution e Lamont – Doherty Earth Observatory e do Departamento Nacional Pesquisas Minerais - DNPM, Companhia Pesquisas de Recursos Minerais - CPRM.

A partir desta época os trabalhos ficaram mais focados na plataforma continental e dentre eles vale destacar os de Coutinho e Kempf (1972), Kempf (1972), Coutinho (1976, 1981 e 1995) e Dominguez (2004).

Uma primeira revisão histórica dos levantamentos sobre a tipologia (batimetria, fisiografia e geomorfologia), caracterização da textura, composição geoquímica e biológica dos sedimentos superficiais dos trechos da plataforma continental do Nordeste Oriental e Leste-Norte, encontra-se nos trabalhos de Coutinho (1976, 1981) e Martins e Coutinho (1981).

Na região Nordeste, os primeiros trabalhos sobre a identificação e distribuição dos sedimentos superficiais foram oriundos da cooperação entre o Instituto de Biologia Marítima e Oceanografia da Universidade de Recife, a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e a Divisão dos Recursos Pesqueiros da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (DRP/SUDENE). Com a criação em 1969 do Programa de Geologia e Geofísica Marinha pela DHN, foram iniciadas as Operações GEOMAR envolvendo diversas universidades brasileiras, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Petróleo Brasileiro S/A (PETROBRAS), o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) e a Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM).

O Projeto REMAC (Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira), iniciado em 1972, envolvendo as entidades mencionadas acima e instituições dos Estados Unidos, gerou a mais completa descrição da batimetria (REMAC, 1975) e uma coletânea de 11 volumes sobre a geologia marinha e a sedimentação da plataforma, com diversos aspectos resumidos das pernas 4 e 7 na região Nordeste e Leste por Summerhayes *et al.* (1975); Milliman e Summerhayes (1975), Milliman (1975) e Martins e Coutinho (1981).

No anos de 1966 e 1967 foi realizado na Plataforma Continental de Sergipe e Alagoas um mapeamento abrangente com coleta de 210 amostras do fundo

marinho. O levantamento obteve incentivo da SUDENE e envolveu as Operações AKAROA e CANOPUS da Marinha do Brasil, sendo a última realizada somente na margem da plataforma continental. Este levantamento pode ser considerado como o melhor conjunto de dados pretéritos para a comparação com os estudos atuais do Projeto Águas-Rasas-Geologia. Os aspectos gerais dos sedimentos foram interpretados por Mabesoone e Tinoco (1967); a geomorfologia e geologia do litoral e da plataforma por França (1969) e Mabesoone e Coutinho (1970); a composição dos organismos bentônicos, por Kempf (1972) e a sedimentação terrígena do rio São Francisco, por Coutinho (1970). Os aspectos da origem, mineralogia e composição geoquímica dos sedimentos encontram-se em Coutinho (1976 e 1981), Martins e Coutinho (1981), Summerhayes *et al.* (1975 e 1976) e Müller *et al.* (1999), entre outros. As condições de contorno geológicas, oceanográficas e climáticas também foram abordadas nas publicações, fornecendo indícios sobre a interação entre o aporte de matéria terrígena (alóctone) e a formação organogenética de carbonatos (autóctone) na plataforma. Os estudos indicaram que a região possui diversas fácies sedimentares a depender da relação entre o aporte fluvial e a influência da Corrente Sul Equatorial (CSE).

O Programa JOPS (Joint Oceanographic Project), cooperação Bilateral Brasil-Alemanha em Ciências do Mar (CNPq/MCT/BMBF), que constou de duas operações (JOPS I - 1990/1991 e JOPS II - 1994/1995), abordou entre outros aspectos os processos de sedimentação e da produtividade da plataforma continental Leste, Nordeste e Equatorial. Informações sobre a sedimentologia, os metais, o transporte de matéria, e as taxas de sedimentação e acumulação de carbono e nitrogênio, da região Nordeste Oriental e do rio São Francisco foram relatadas por Tintelnot (1996); Ekau e Knoppers (1996 e 1999), Jennerjahn *et al.* (1997, 1999 e 2010), Knoppers *et al.* (1999 e 2006), Freire *et al.* (2004) e Santos *et al.* (2009).

Outros projetos que contribuíram para o conhecimento da região foram o LEPLAC de 1988 e REVIZEE (SECIRM/MMA) realizado durante a década de 90. Coutinho (1996) coordenou a pesquisa sobre o estado da arte de dados pretéritos e a síntese das condições da plataforma continental na área de oceanografia

geológica, considerando as definições das províncias topográficas de Zembruski *et al.* (1972). O mesmo profissional coordenou também a pesquisa sobre as associações carbonáticas em função de parâmetros ambientais e abordou a síntese de Villwock (1994) sobre os depósitos sedimentares acumulados da região Nordeste Oriental.

Embora o conhecimento sobre a distribuição e classificação das províncias sedimentares com as suas fácies biodetríticas (carbonatos modernos e relíquias), terrígenas (siliclásticos modernos e relíquias) e químicas (principalmente metais) estivesse razoavelmente bem consolidado, as informações advindas do Projeto Águas Rasas - Geologia contribuíram para ampliar o conhecimento acerca da geomorfologia e sedimentologia da Plataforma Continental de Sergipe e sul de Alagoas e sobre os processos de interação Terra-Mar.

## V. PRINCIPAIS ASPECTOS DA GEOLOGIA DA BACIA DE SERGIPE E ALAGOAS

A Bacia de Sergipe-Alagoas situa-se na costa leste brasileira, aproximadamente entre as latitudes de 9° e 11° S, abrangendo áreas terrestres e marítimas dos estados de Sergipe e Alagoas. É uma bacia com extensão alongada, limitando-se ao norte com a Bacia Pernambuco-Paraíba, no Alto de Maragogi, e ao sul, com a Bacia de Jacuípe. A porção emersa da bacia possui uma área de 13.000 km<sup>2</sup> e a porção submersa, de 32.760 km<sup>2</sup>, até a isóbata de 3.000 m (ANP, 2009).

### V.1. Evolução da Bacia

A Bacia de Sergipe-Alagoas está incluída na margem continental leste brasileira (Projeto REMAC, 1979), cuja origem relaciona-se aos modelos de deriva continental, tectônica de placas e a formação e expansão do assoalho oceânico. Atualmente, esses modelos justificam o processo de individualização das placas sul-americana e africana, a formação do Oceano Atlântico e a construção das margens continentais.

Tais processos se desenvolveram no decorrer de três fases crustais principais, sendo elas o soerguimento, o fraturamento e a separação por tensionamento (ASMUS, 1982).

A evolução geológica do arcabouço estrutural, associada à sedimentação da margem continental leste brasileira e de sua área oceânica profunda adjacente, ocorreu em quatro estágios, que se associam às situações de deriva continental, tectônica de placas e formação e expansão do assoalho oceânico (ASMUS, 1982; CHANG *et al.*, 1990) (Figura V.1).

**Tabela V.1. Evolução Geológica – Sedimentar das Bacias Marginais Costa Leste Brasileira.**

Estágio Evolutivo	Fase de Sedimentação	Seqüência Sedimentar	Ambiente Depositional
Oceânico	Drifte	Mar	Marinho regressivo/ transgressivo
			Plataforma rasa
Proto-oceânico	Transicional	Golfo	Marinho restrito / lagunar
Rifte	Rifte	Lagos	deltáico-lacustre
Pré-rifte	Continental	Continente	flúvio-lacustre-eólico

Fonte: Modificado de Ponte et al. (1979) in Asmus (1984).

O estágio pré-rifte, ocorrido a partir do Neojurássico, é caracterizado pelo soerguimento da margem continental, que originou áreas positivas, e pela criação de falhas incipientes na crosta superior. O processo de soerguimento teve uma origem térmica, devido às condições sub-crustais, tais como anomalias térmicas e anomalias/descontinuidades da espessura da crosta (ASMUS e PORTO, 1980).

Apesar da área situada entre os estados do Sergipe e Alagoas ter apresentado uma situação estrutural semelhante às áreas adjacentes, o efeito do soerguimento sobre esta originou, em menor escala, uma margem interdômica com a presença de soerguimentos menores (ASMUS e FERRARI, 1978; Asmus, 1984). Concomitantemente, houve uma atenuação da parte inferior da crosta e erosão na parte superior, ocasionando diferenças nas suas espessuras, desequilíbrios isostáticos, esforços e tectonismo Cenozóico. As áreas elevadas passaram, então, a representar áreas-fonte de sedimentos para as bacias interiores periféricas no entorno dos altos (área continental), mais especificamente, à Depressão Afro-brasileira (ASMUS e PORTO, *op. cit.*).

O estágio rifte, desenvolvido a partir do Eocretáceo, promoveu o estiramento e o afinamento da crosta, situações que desencadearam seu fraturamento, abatimento e abertura, além de vulcanismo local (GUAZELLI e CARVALHO,

1981). Nessa fase, ocorreu a instalação de vales em rifte, com a orientação das estruturas e formação de feições estruturais do tipo horst, graben e meio-graben, sendo eles limitados por falhas sintéticas e antitéticas, com rejeitos de dezenas a centenas de metros. Outras feições estruturais importantes — falhas normais, linhas de charneiras ou flexuras e estruturas transversais (zonas de fraturas) — foram produzidas durante esta fase (ASMUS, 1982).

Durante o estágio proto-oceânico, desenvolvido a partir do Aptiano, apareceram fraturas nos limites entre áreas soerguidas e subsididas, associadas, possivelmente, aos esforços tracionais derivados das diferenças de espessuras crustais. Em algumas regiões os fraturamentos foram acompanhados de vulcanismo, com formação de edifícios vulcânicos. Estas feições restringiram parcialmente a circulação oceânica, que associada a uma condição climática árida, propiciou a formação das bacias evaporíticas (ASMUS, *op. cit.*).

O estágio oceânico ou margem continental, iniciado no Albiano-Cenomaniano e com extensão até o atual, se associa à separação progressiva entre os continentes sul-americano e africano decorrente da criação do piso oceânico do Atlântico. Nesse estágio foram definidas as feições estruturais e morfológicas da margem continental e das bacias oceânicas adjacentes. Embora considerado como de condição de relativa quietude tectônica, predominam movimentos crustais de subsidência e soerguimento de blocos (movimentos verticais) na área costeira (ASMUS, 1982).

Esse processo evolutivo promoveu condições estruturais importantes sobre a margem continental leste brasileira e área oceânica profunda adjacente, criando grandes depressões tafrogênicas e formando importantes centros de deposição.

A Bacia de Sergipe-Alagoas foi constituída no estágio rifte (Pré-Aptiano) e representa um flanco emerso de um graben alongado na direção NE-SW, com mergulho para SE sob o Oceano Atlântico (Ponte *in* RADAMBRASIL, 1983).

## V.2. Substrato Geológico Regional – Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas

O substrato geológico regional sobre o qual se encontra a plataforma continental é formado por rochas sedimentares em toda a sua extensão. A região estudada está localizada dentro da Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas (Figura V.1), que pode ser descrita como um meio graben de 350 km de comprimento por 20 a 50 km de largura, alongado na direção NE-SW, mergulhando sob o mar.

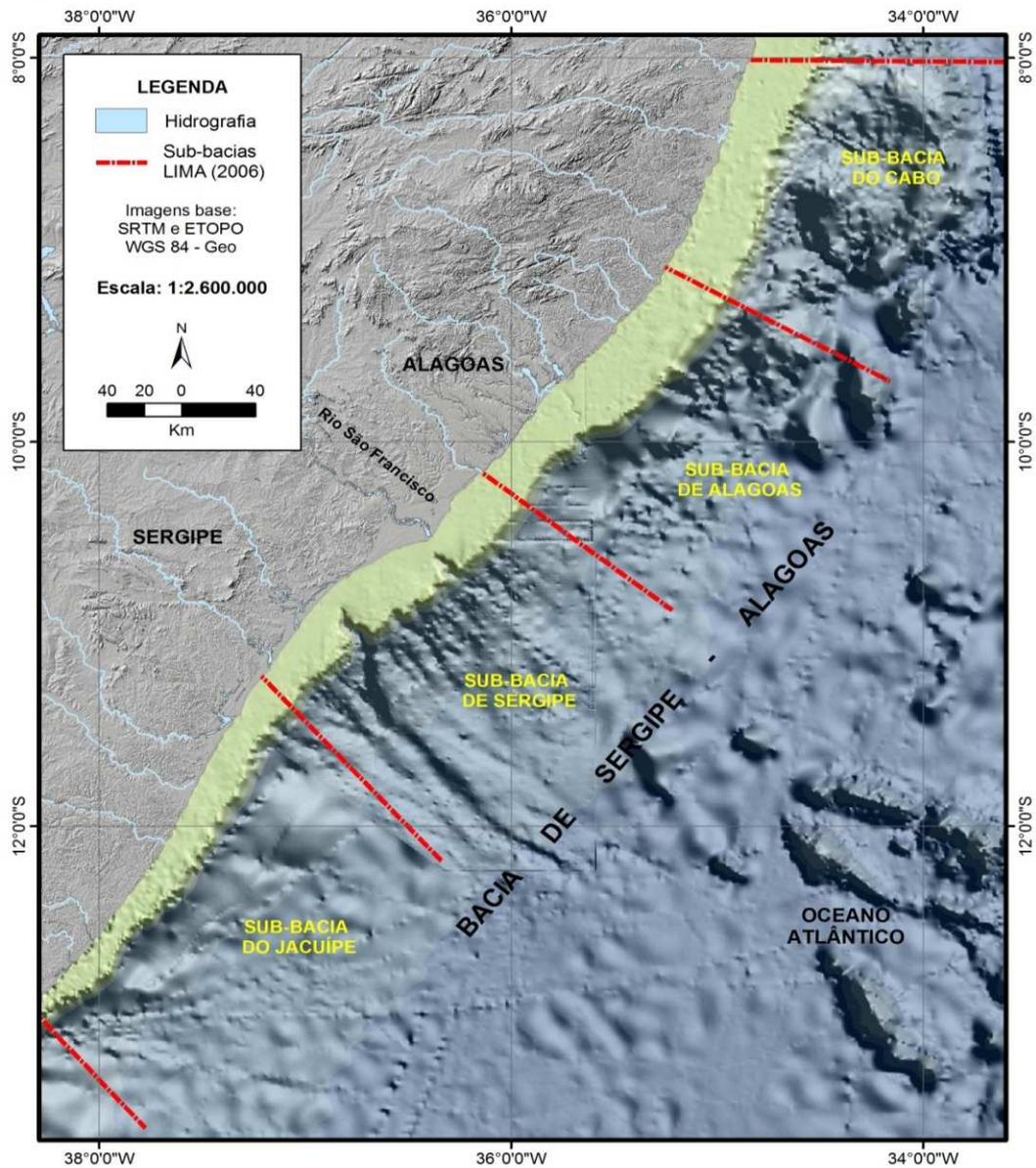
O arcabouço estrutural da bacia foi formado no cretáceo inferior, pelo tectonismo pré-aptiano, sendo provavelmente a última atividade tectônica de grande importância na área. Contudo, é possível que tenham ocorrido posteriormente movimentos verticais de soergimento e subsidência ao longo de falhas pré-existentes, responsáveis pela presença de falhas escalonadas, que caracterizam a Bacia de Sergipe-Alagoas.

A Bacia de Sergipe-Alagoas é subdividida em: Sub-bacia de Alagoas, Sub-bacia de Sergipe, sub-bacia do Cabo e de Jacuípe (SOUZA-LIMA, 2006). A área específica de estudo, a plataforma norte de Sergipe e sul de Alagoas, está localizada dentro da sub-bacia de Sergipe (Figura V.1).

As bacias precursoras da bacia Sergipe-Alagoas começam a se formar a partir do choque entre os cratons do Congo-São Francisco com o cráton do Oeste Africano, na formação do supercontinente Gondwana há 500 milhões de anos. A partir do Paleozóico durante os diversos ciclos tectônicos e principalmente na fase *rift* (Juro-Cretáceo) de abertura do Atlântico foram individualizadas as quatro sub-bacias (SOUZA-LIMA, 2006).

Uma análise da carta estratigráfica da bacia (CAMPOS NETO *et al.*, 2007), indica que no fim do período Jurássico e início do Cretáceo a bacia começa a ser preenchida por sedimentos alternando entre ambientes fluviais e lacustres e a partir do Terciário em ambiente francamente marinho muito semelhante à distribuição sedimentar atual com sedimentos terrígenos junto ao continente, carbonatos na plataforma externa e lama no talude e oceano profundo (Figura V.2

e Figura V.3). Na porção continental da bacia, essa sequência é coberta pelos depósitos areno-argilosos do grupo Barreiras.



**Figura V.1.** Bacia de Sergipe-Alagoas e suas subdivisões. Fonte: Souza-Lima, 2006.

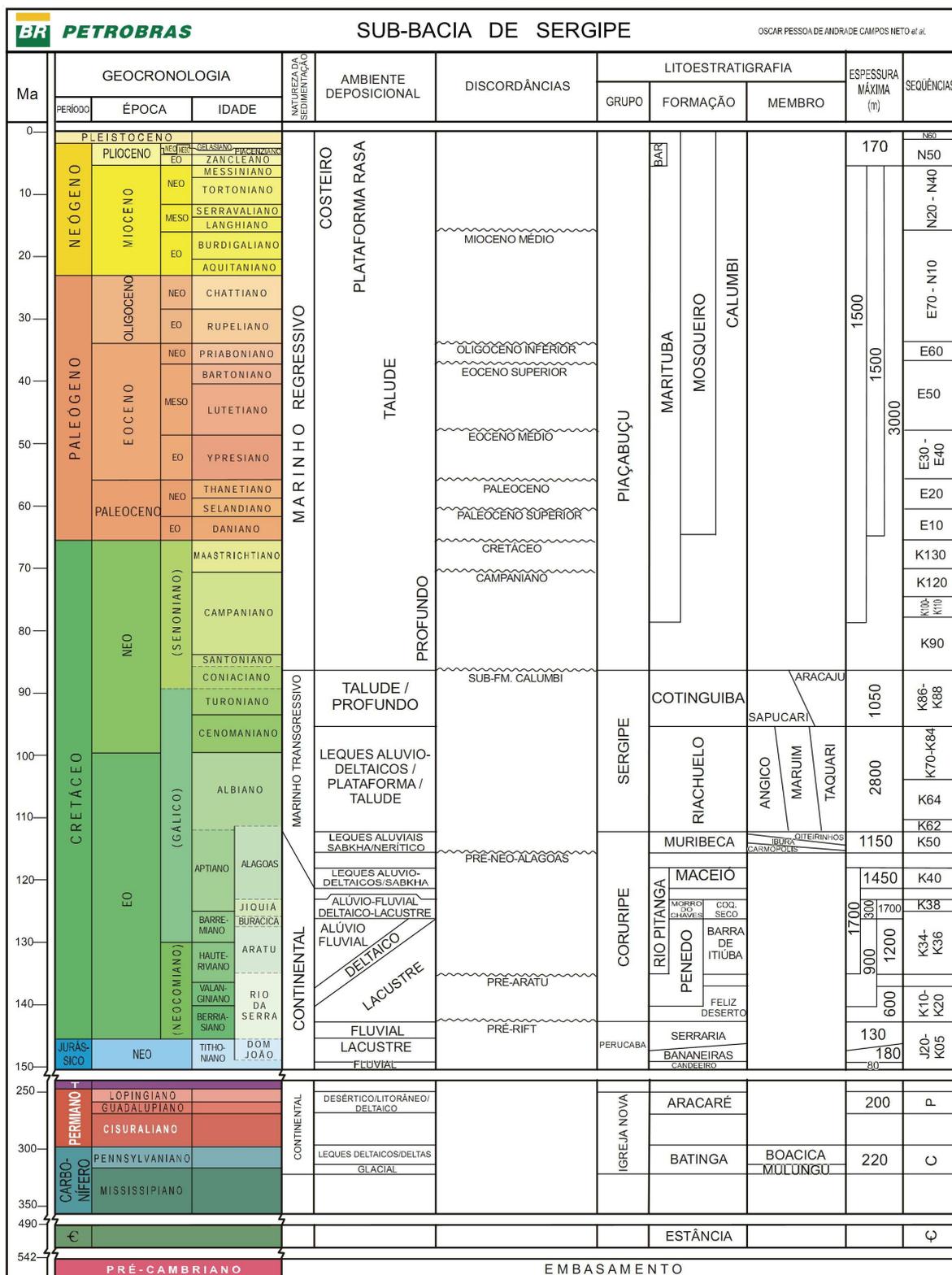


Figura V.2. Carta estratigráfica para a Sub-Bacia de Sergipe. Fonte: Campos Neto et al., 2007.

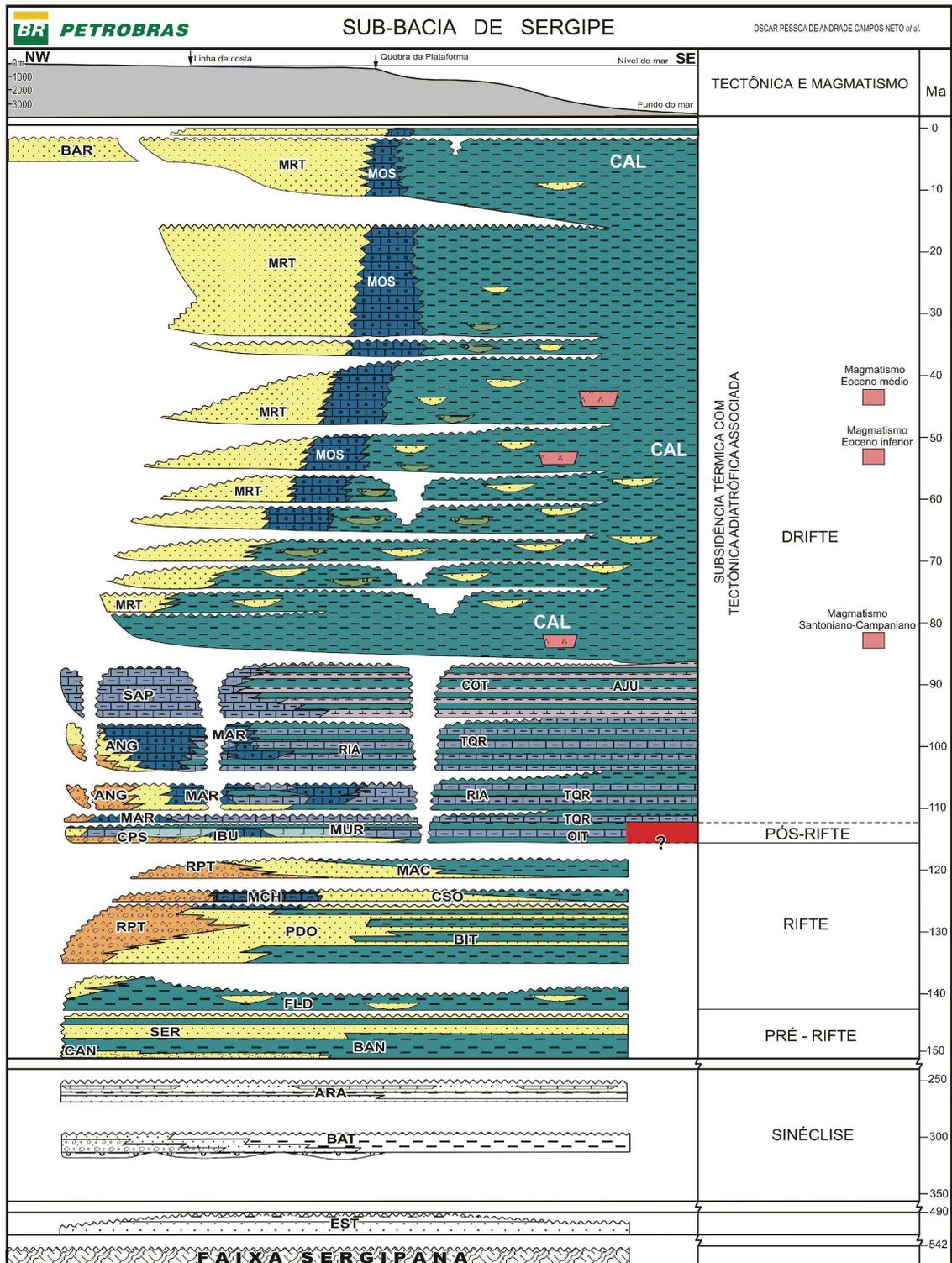


Figura V.3. Coluna estratigráfica da Sub-Bacia de Sergipe.

Fonte: Campos Neto et al., 2007.

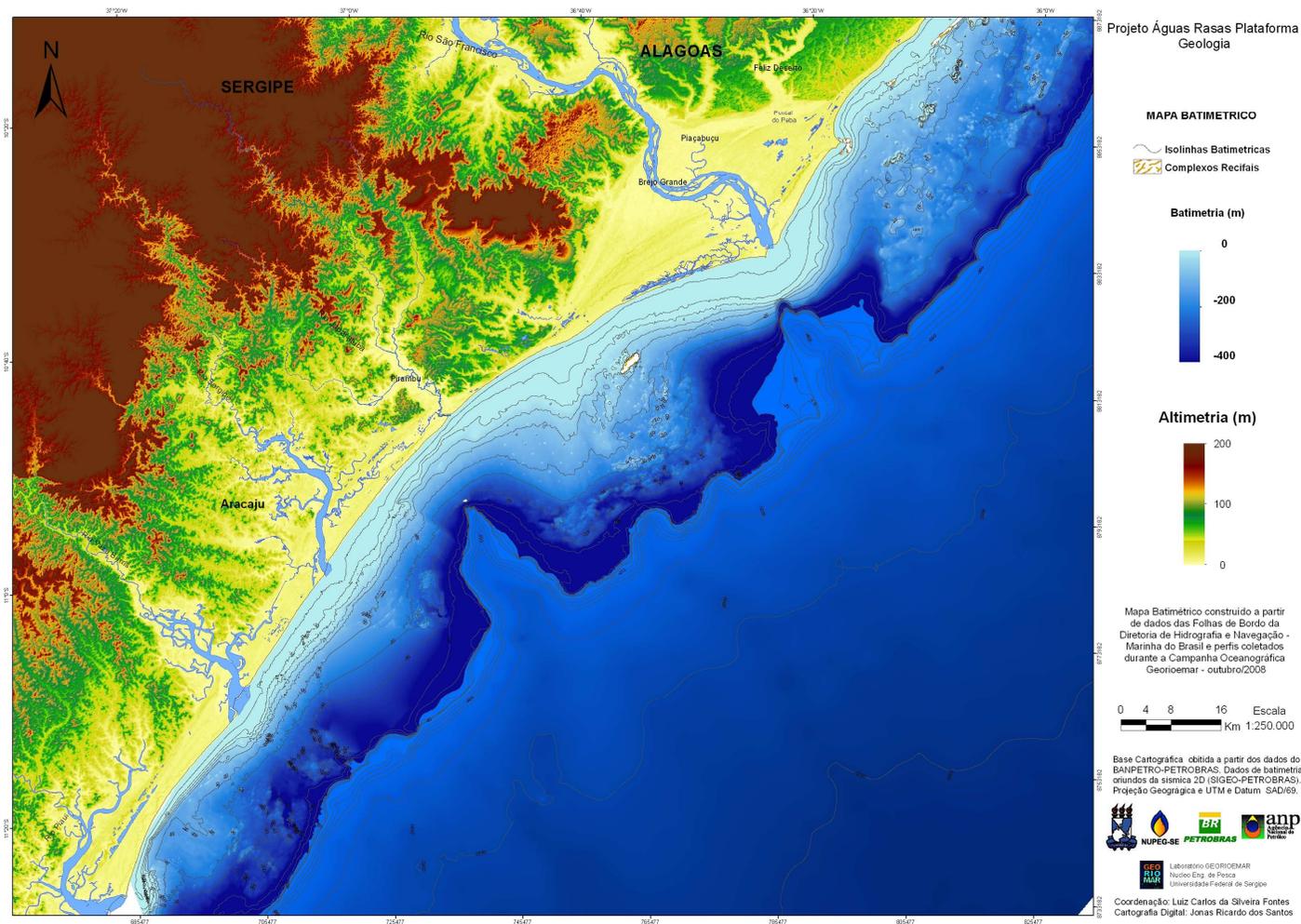
## VI. GEOMORFOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DE SERGIPE E SUL DE ALAGOAS

### VI.1. GEOMORFOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL

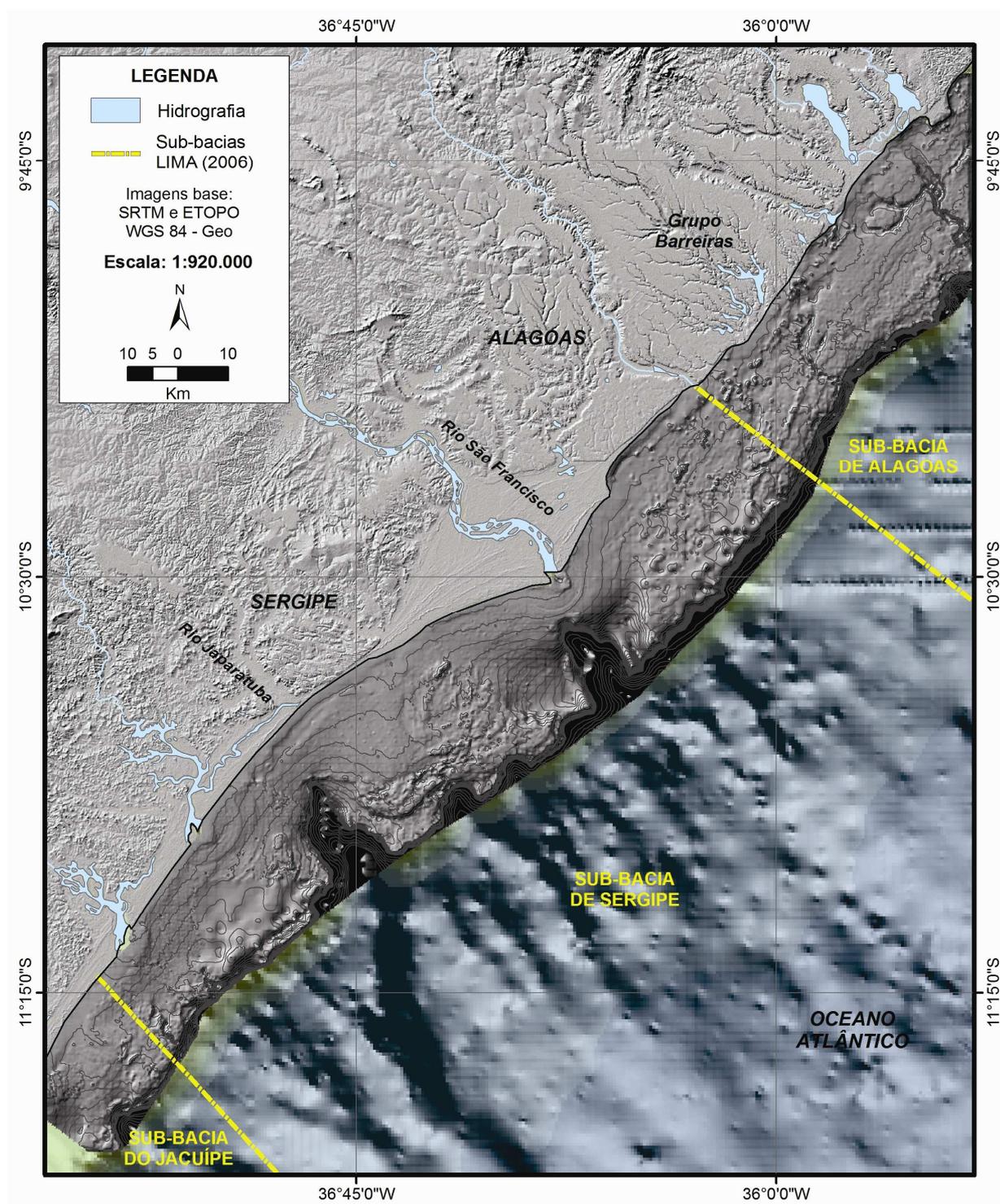
Os novos estudos da geomorfologia da plataforma continental Sergipe e Alagoas foram desenvolvidos a partir da elaboração de um mapa batimétrico na escala de 1:250.000, integrado com o modelo digital de terreno (MDT) continental. Esta nova base cartográfica para a região marinha realçou as características morfológicas dos vários setores da plataforma, as quais são descritas nos itens a seguir. Uma nova visualização do relevo submarino e das suas feições morfológicas da plataforma continental, integradas com o talude continental, também foi obtida e realçada no modelo digital de terreno.

A plataforma do nordeste brasileiro faz parte do grupo das mais estreitas do país. A largura da plataforma continental na região de Sergipe e Alagoas varia de um máximo de 42 km em frente a Maceió para um mínimo de 18 km na região sul de Sergipe (Coutinho, 1976). Todavia, com base nos novos dados originados nesta pesquisa foi possível obter mais detalhes da plataforma de Sergipe e sul de Alagoas, cuja largura média é de 33 km, atingindo um máximo de 35 km logo a norte do cânion Japarutuba, estreitando-se para apenas 8 km na cabeceira do cânion São Francisco (Figura VI.1 e ANEXO1).

Na topografia derivada das Folhas de Bordo da Marinha do Brasil/DHN chamam a atenção os cânions São Francisco e Japarutuba e o contraste entre áreas de fundo rugoso e áreas de fundo liso (Figura VI.2).



**Figura VI.1. Mapa batimétrico da plataforma continental de Sergipe e sul de Alagoas.**



**Figura VI.2.** Modelo digital de terreno, sobreposto por curvas batimétricas, com três partes integradas, cada uma delas com um exagero vertical distinto: continente, plataforma continental e talude, com delimitação dos limites entre as sub bacias

*sedimentares subjacentes. Podem ser observados os cânions São Francisco e Japarutuba, os vales incisos e as áreas rugosas e lisas.*

## VI.2. RELEVO DO FUNDO MARINHO

O modelo digital de terreno (Figura VI.2) e o mapa batimétrico 1:250.000 da plataforma continental de Sergipe e sul de Alagoas (Figura VI.1) permitiram uma melhor visualização do relevo de fundo submarino e identificação dos seus diversos setores. Os padrões de configuração das curvas batimétricas realçaram as nuances do relevo submarino.

No mapa batimétrico, apesar de prevalecer o decaimento mais ou menos homogêneo da profundidade da plataforma continental no sentido da praia para o mar aberto, foram realçadas as peculiaridades do relevo submarino dos seus diversos setores. Nos mapas batimétricos publicados em trabalhos anteriores estas feições eram parcialmente mascaradas, devido à aparente homogeneidade e paralelismo das linhas batimétricas na plataforma continental.

O destaque da plataforma continental de Sergipe é a existência de cânions submarinos na sua borda. Dois grandes cânions, São Francisco e Japarutuba e outros menores (Sapucaia, Piranhas, Vaza-Barris e Piauí-Real) são observados na área cortando a borda da plataforma. O cânion do rio São Francisco representa um limite geomorfológico entre os setores sul (plataforma norte de Sergipe) e norte (plataforma sul de Alagoas) da área de estudo.

As áreas de morfologia rugosa denotam a presença de sedimentos carbonáticos, enquanto as áreas lisas de sedimentação terrígena. As áreas mais ricas em carbonatos estão na borda de plataforma e na plataforma sul de Alagoas, se aproximando da linha de costa, onde o Grupo Barreiras está presente formando paleofalésias. As áreas mais pobres em carbonato localizam-se na foz do São Francisco e nas cabeceiras do cânion Japarutuba.

No modelo digital de terreno, também foram realçados dois conjuntos de vales incisos na plataforma continental sul de Alagoas, situados em frente aos rios Coruripe e Poxim (Figuras VI.1 e VI.2).

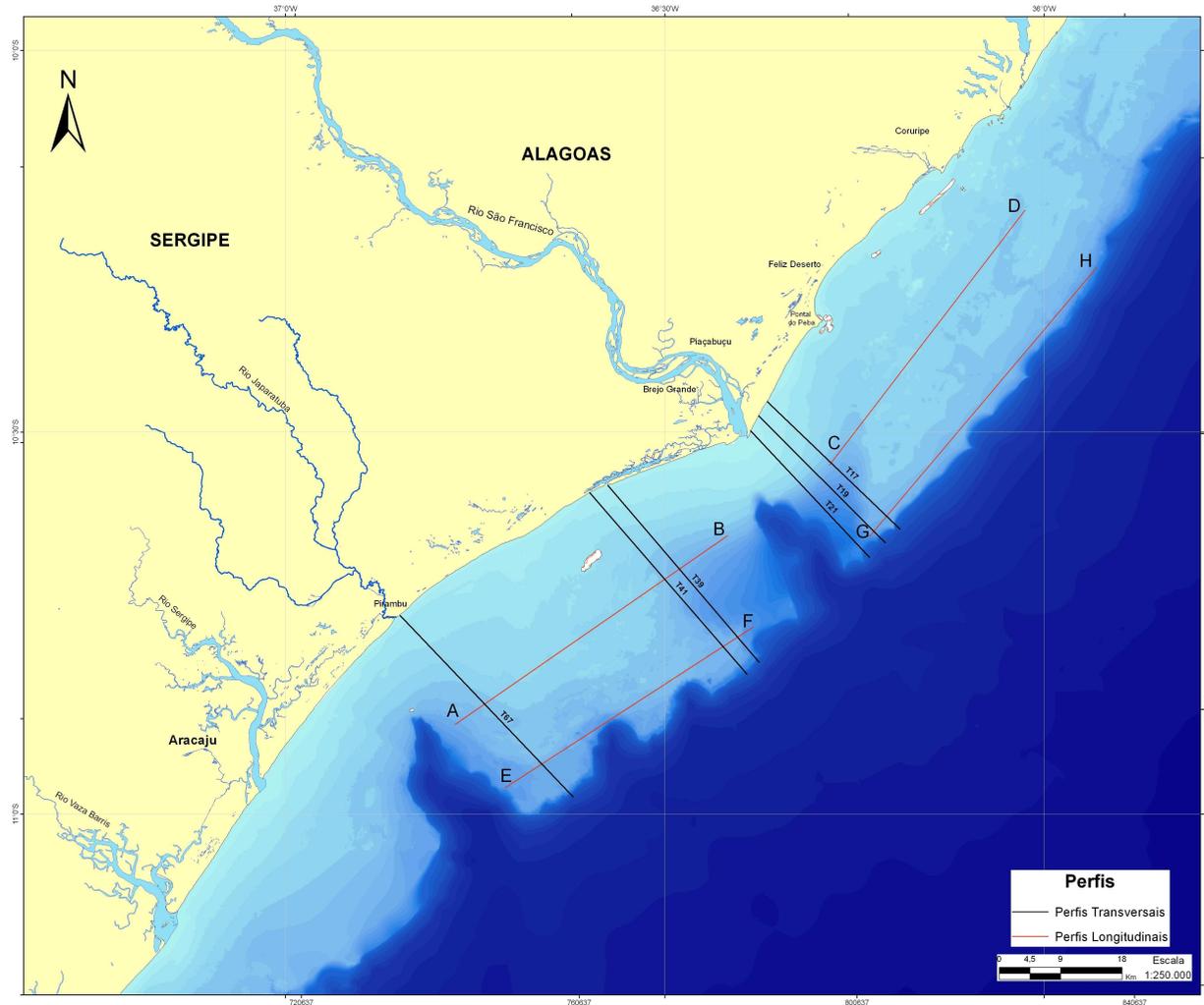
O fundo rugoso dos setores intermediários da plataforma foi realçado através de inúmeras curvas batimétricas fechadas. Nestas áreas é possível individualizar pináculos isolados, alinhamentos de bancos - revelando a existência de recifes submersos - e vales incisos. O fundo, geralmente plano, dos setores da plataforma externa, onde domina a sedimentação carbonática, também ficou evidenciado.

Na plataforma sul de Alagoas destaca-se o relevo submarino caracterizado pelo predomínio de construções carbonáticas. A plataforma de Sergipe é caracterizada por um relevo mais diversificado, onde se destacam os cânions submarinos associados aos rios São Francisco e Japarutuba, que adentram na plataforma continental, e áreas com relevo resultante da erosão e deposição de sedimentos terrígenos. O mapa batimétrico evidenciou duas novas feições na plataforma norte de Sergipe: a região de relevo rugoso em frente à localidade de Ponta dos Mangues e a presença de um alto no fundo submarino, alinhado na direção Norte-Sul, entre Ponta de Mangues e Pirambu.

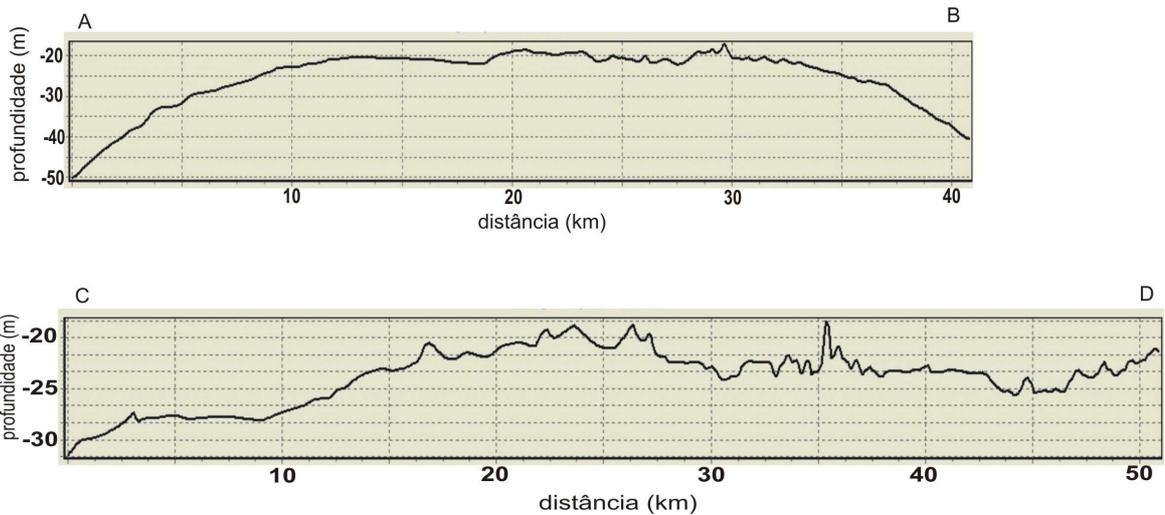
Quanto às características de rugosidade da superfície do fundo marinho, a área de estudo pode ser dividida em quatro setores. São dois setores rugosos, um a norte do São Francisco (Alagoas) e outro a sul (Sergipe). No setor norte a superfície tem um aspecto rugoso desde a linha de costa até a borda da plataforma (Figura VI.2). No setor sul esta superfície rugosa aparece a partir dos 25 m de profundidade. As superfícies rugosas são interrompidas por duas superfícies lisas: uma em frente à foz do São Francisco e outra ao largo da foz e nas proximidades da cabeceira do cânion Japarutuba.

Os perfis longitudinais regionais da plataforma norte de Sergipe e sul de Alagoas (Figura VI.3) na profundidade média de 20 m, mostram que a plataforma continental de Sergipe tem um relevo bem menos rugoso do que a de Alagoas (Figura VI.4). Esta diferença de rugosidade não se observa no perfil regional na

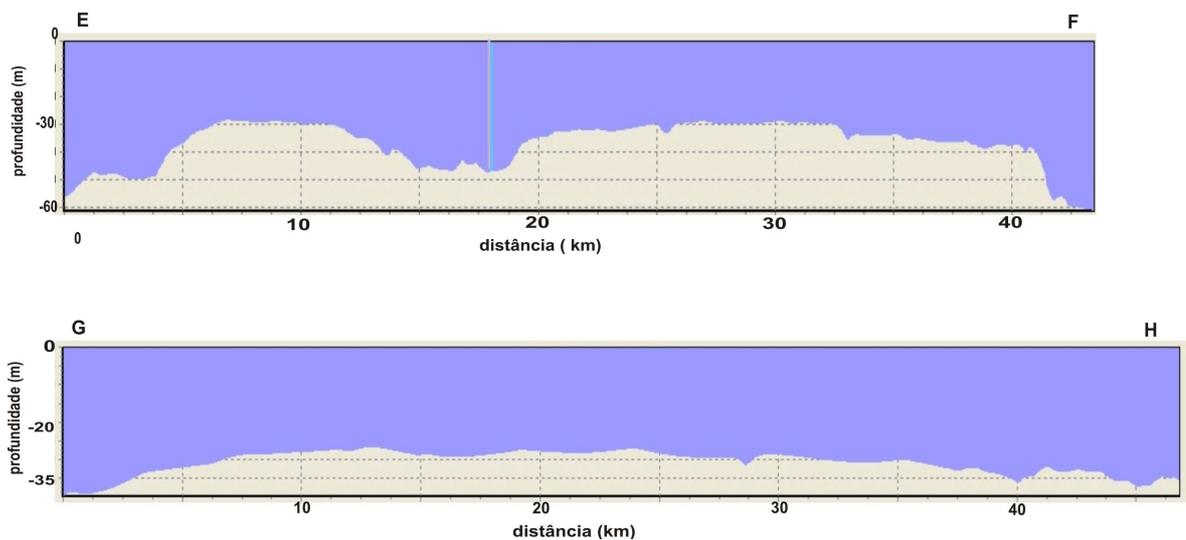
profundidade média de 50 m, indicando o desenvolvimento de uma borda da plataforma de relevo mais plano (Figura VI.5).



**Figura VI.3.** Localização dos perfis batimétricos longitudinais e transversais realizados na plataforma continental Sergipe e Alagoas.



**Figura VI.4.** Perfis batimétricos longitudinais próximos à profundidade de 20 m. A) região ao sul (plataforma norte Sergipe) e B) ao norte do rio Francisco (plataforma sul Alagoas).



**Figura VI.5.** Perfis batimétricos longitudinais próximos à linha batimétrica de 50 m. A) região à sul (plataforma norte de Sergipe) e B) à norte do rio São Francisco (plataforma sul de Alagoas).

A rugosidade do fundo marinho na região de estudo corresponde à área com crescimento algálico, que podem ter forma de pináculos ou áreas rugosas com elevação um pouco acima da topografia local. Estas áreas estão geralmente na plataforma média e externa, mas aparecem mais próximo a costa onde o Grupo Barreiras está junto ao litoral, na forma de paleofalésias, como no caso do litoral sul de Alagoas. O aspecto rugoso do fundo, a topografia localmente mais elevada

e o teor elevado de carbonato permitem deduzir que as áreas rugosas correspondem a bioconstrução de algas calcárias e corais.

### VI.3. CÂNIONS E DRENAGENS SUBMARINAS

As principais feições morfológicas da plataforma norte de Sergipe e sul de Alagoas foram identificadas a partir da análise do mapa batimétrico (Figura VI.1), do modelo digital de terreno (Figura VI.2) e da incorporação das informações constantes na Carta Náutica da Marinha do Brasil. Estas feições serão descritas nos itens a seguir.

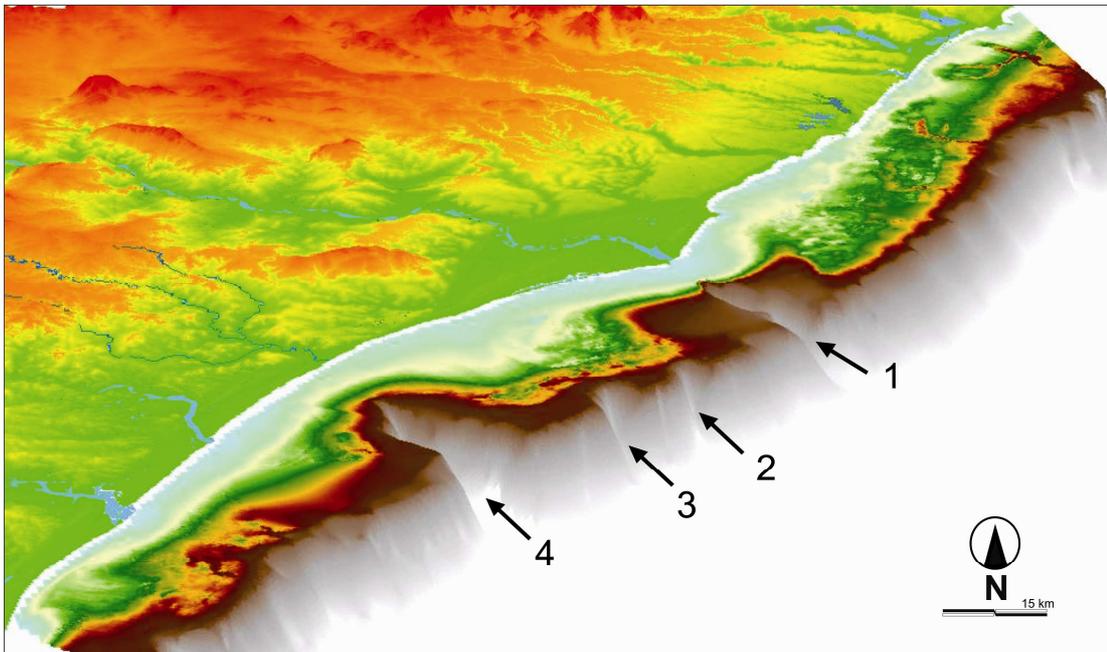
No trecho da margem continental leste correspondente à área de estudo, as feições morfológicas que mais se destacam são os cânions e canais. Tais feições aparecem na plataforma e atravessam o talude continental, apresentando desde algumas dezenas a centenas de quilômetros. Algumas destas feições assumem características de canais na plataforma continental e talude continental superior, transformando-se em cânions ao longo de seus cursos.

Quanto aos cânions, é observado o conjunto de cinco cânions denominados cânions de Aracaju. Estas feições abrangem uma área de quase 400 km<sup>2</sup>, a qual se estende entre o largo do rio Coruripe (sul de Alagoas) até o extremo sul de Sergipe. Fazem parte desse conjunto, de norte para sul, os seguintes cânions: São Francisco, Sapucaia, Japarutuba, Vaza-Barris e Real (França, 1979).

As feições morfológicas mais proeminentes desta região são os grandes cânions submarinos escavados na borda da plataforma continental e no talude continental: os cânions São Francisco e o Japarutuba. Entre eles, desenvolve-se um cânion de menor porte, designado de cânion Sapucaia (Figura VI.6).

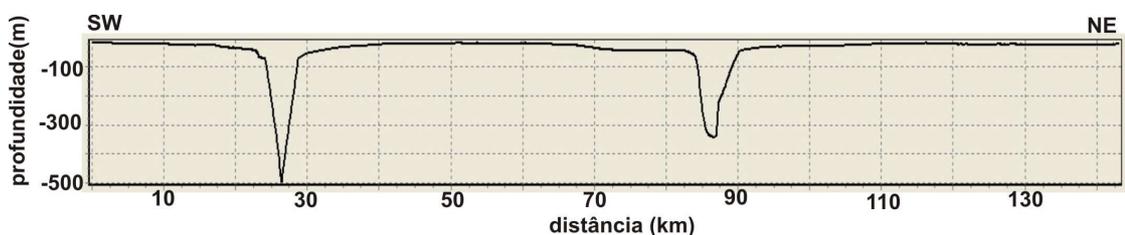
Cainelli (1992) classifica os cânions de acordo com a idade (antigos ou modernos) e de acordo com a fase evolutiva (imaturos ou maduros). Os cânions São Francisco e Japarutuba foram classificados como maduros por estarem ligados a dois sistemas fluviais atuais e o Sapucaia como imaturo, cujas

cabeceiras escavam somente a plataforma externa e o talude superior, mas não apresenta ligação com aportes fluviais atuais. cânions antigos são principalmente preenchidos por lamas limitados por superfícies de erosão em forma de U ou V (vales incisos), que podem ser visualizadas em perfis sísmicos (Cainelli, 1992).



**Figura VI.6.** Modelo digital de terreno com destaque para os cânions submarinos do (1) São Francisco, (2) Piranhas, (3) Sapucaia, e (4) Japarutuba.

Os perfis longitudinais regionais da plataforma norte de Sergipe e sul de Alagoas mostram que, em mesma posição em relação à linha de costa, o cânion submarino Japarutuba é mais profundo do que o São Francisco (Figura VI.7).

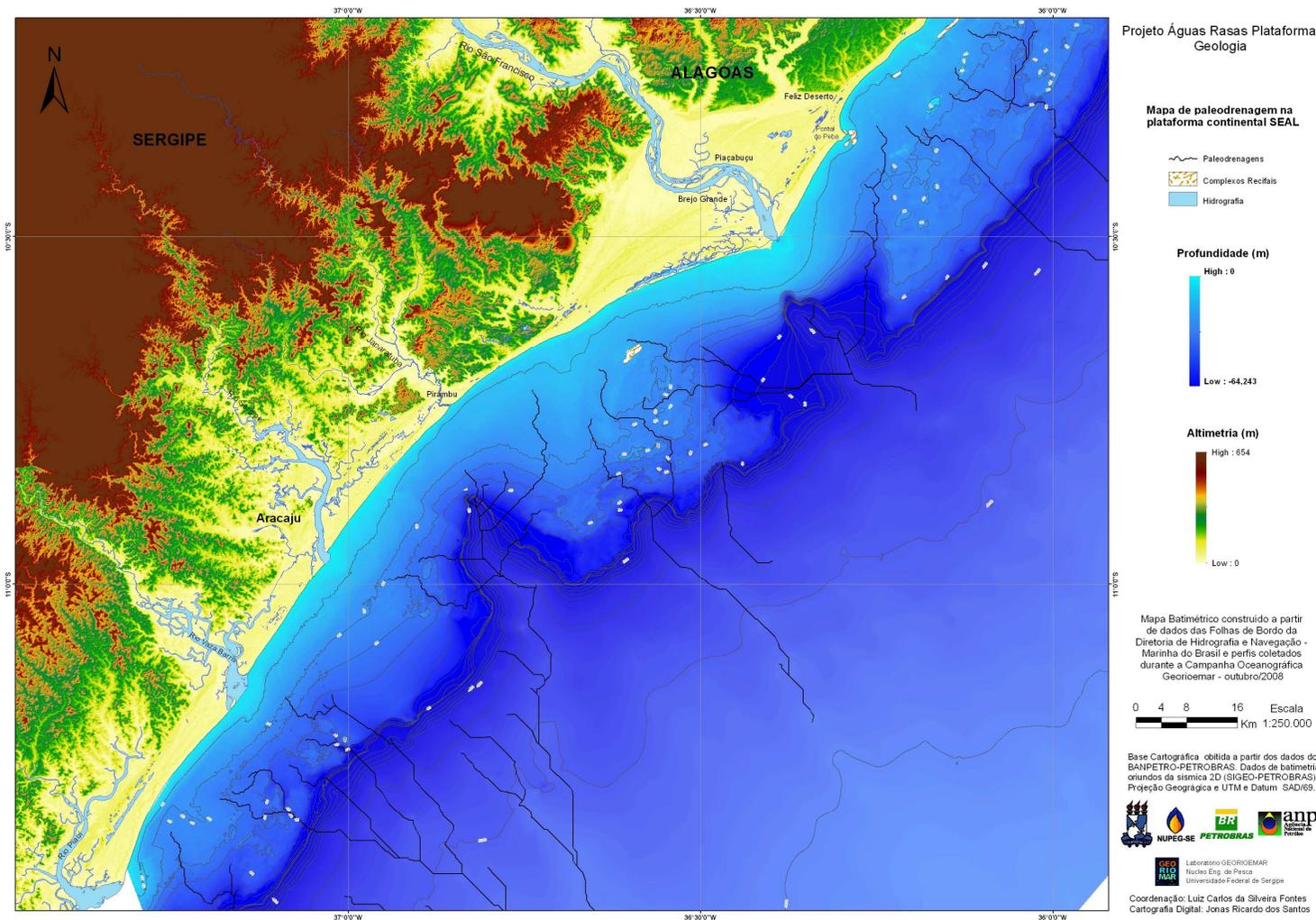


**Figura VI.7.** Perfil batimétrico longitudinal da plataforma com destaque para os cânions submarinos Japarutuba (esquerda) e São Francisco (direita).

Os cânions São Francisco e Japarutuba foram descritos sumariamente por Summerhayes *et al.* (1976). Distinguem-se por canais ligeiramente sinuosos, com os trechos mais rasos assumindo aspecto íngreme e os mais profundos aspectos atenuado, com gradiente por volta de 2 graus. Os cânions apresentam paredes escarpadas, em forma de V, estreitas e com declividade alcançando cerca de 8 graus. A partir do talude médio, os cânions se alargam e as paredes tornam-se menos íngremes, mais baixas e irregulares que nos trechos mais elevados, junto à plataforma externa.

As depressões submarinas existentes na plataforma continental foram identificadas no mapa batimétrico e interpretadas como zonas preferenciais de drenagens submarinas, direcionadas no sentido do cânion e do talude continental (Figura VI.8).

A rede de drenagem submarina desenvolvida na plataforma continental e associada ao cânion São Francisco, possui ramificações nas direções norte e sul. Dois pequenos cânions convergem, em baixo ângulo, para o cânion principal. Estas ramificações possivelmente são resultantes de antigas posições da desembocadura fluvial ou da erosão diferencial, uma vez que se posicionam no limite entre a plataforma externa francamente carbonática e a plataforma lamosa ou mista intermediária.



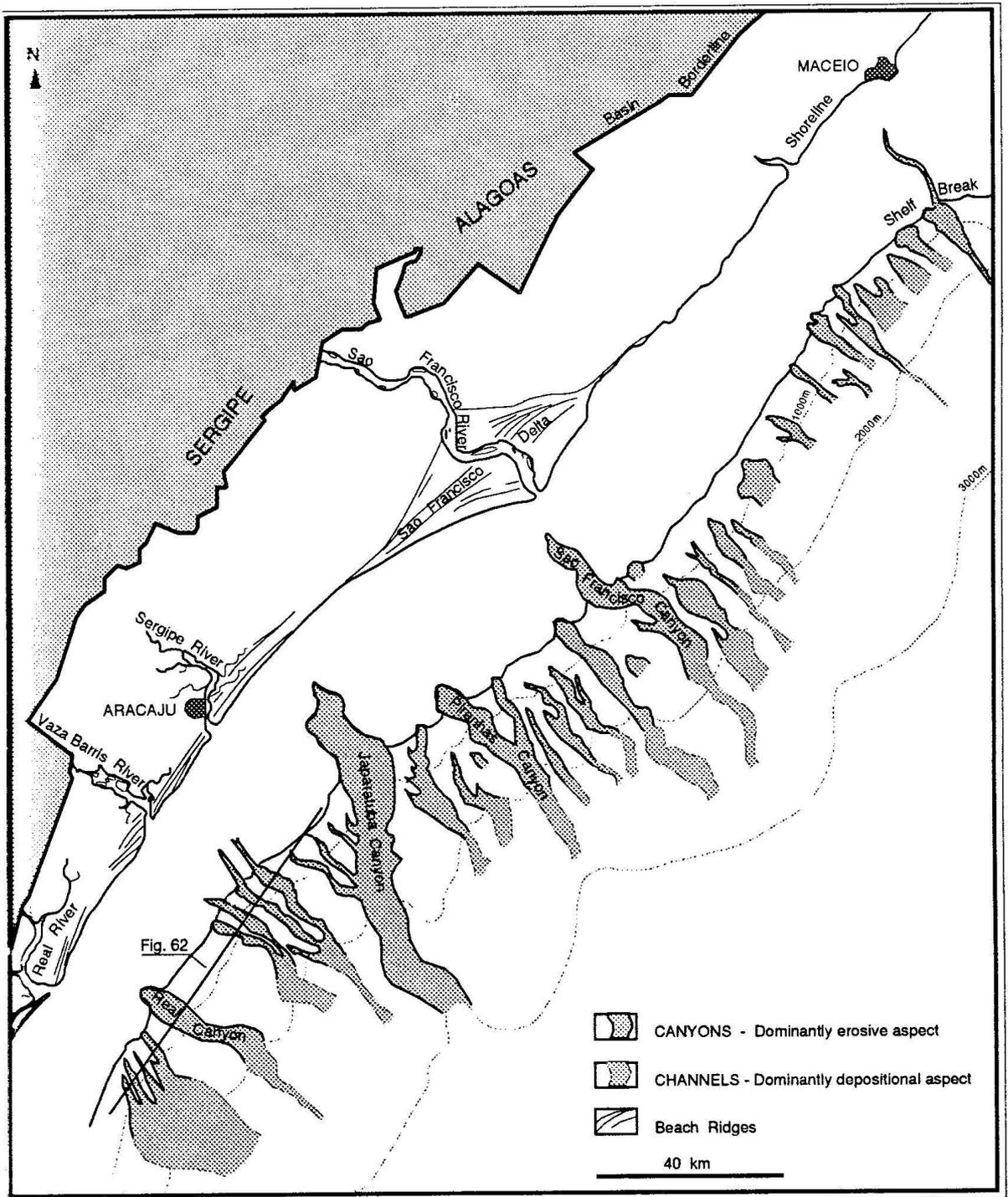
**Figura VI.8.** Interpretação da rede de drenagem submarina na plataforma e talude continentais.

A rede de drenagem submarina associada ao cânion Japarutuba tem uma ramificação para norte, originando-se no alto morfológico de Ponta dos Mangues, o qual será descrito adiante.

No extremo sul da planície deltaica do rio São Francisco, região de Ponta dos Mangues, encontra-se uma drenagem submarina associada aos cânions Sapucaia e Piranhas.

Além desta família de cânions escavados na borda da plataforma, existe outra, no talude superior, em torno de 1000 m. Segundo Cainelli (1992), possivelmente refletem a existência de dois principais períodos de geração de incisão de cânions, pois além dos cânions que escavam a plataforma e o talude superior, existe um conjunto de cânions que se iniciam no talude superior ou médio (Figura VI.9).

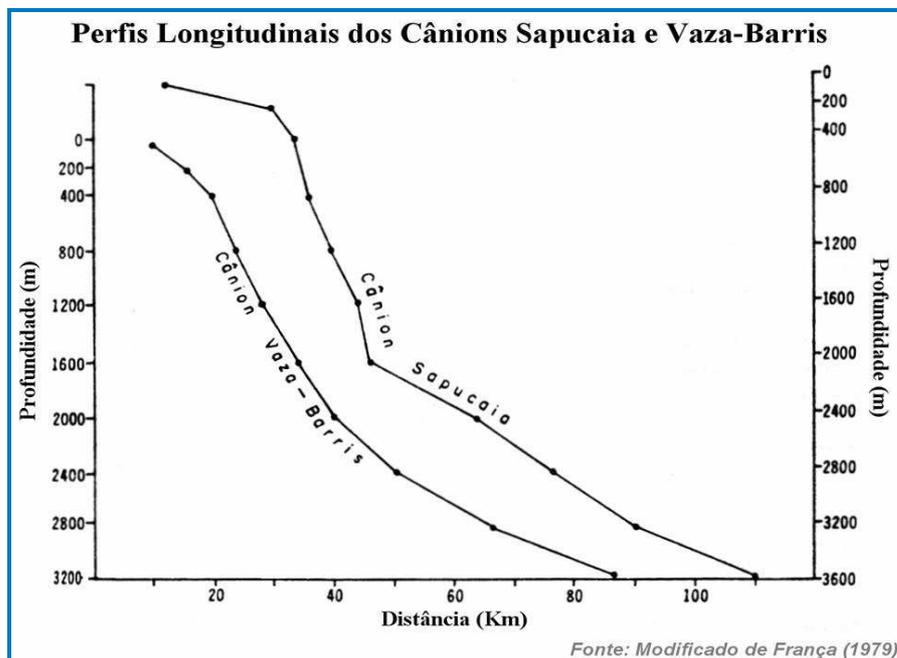
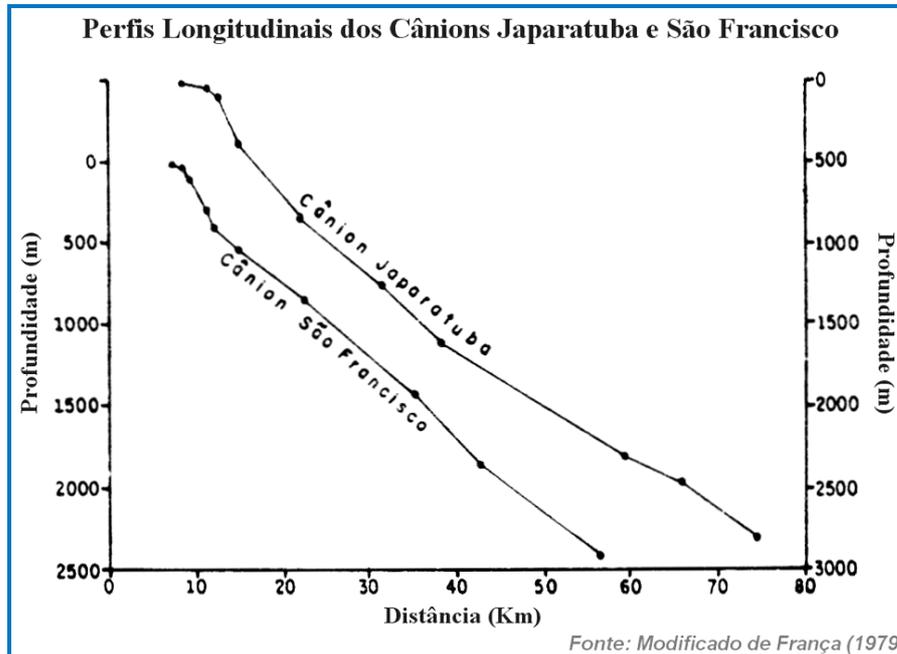
No extremo norte da área de estudo (plataforma sul de Alagoas), destacam-se as drenagens submarinas situadas em frente aos rios Coruripe, Poxim e Jequiá, parcialmente preenchidas por sedimentos, mas que não desenvolvem cânions atuais.



**Figura VI.9.** Principais cânions modernos na margem continental da Bacia Sergipe-Alagoas cujas escavações provocam uma retrogradação da plataforma externa. Fonte: Cainelli (1992).

No relatório final do projeto REMAC constam os gráficos comparativos das declividades dos cânions da Bacia de Sergipe e Alagoas. Os perfis longitudinais dos cânions Sapucaia e Vaza-Barris mostram que ambos são mais íngremes, a partir do talude, que os cânions São Francisco e Japarutuba (Figura VI.10).

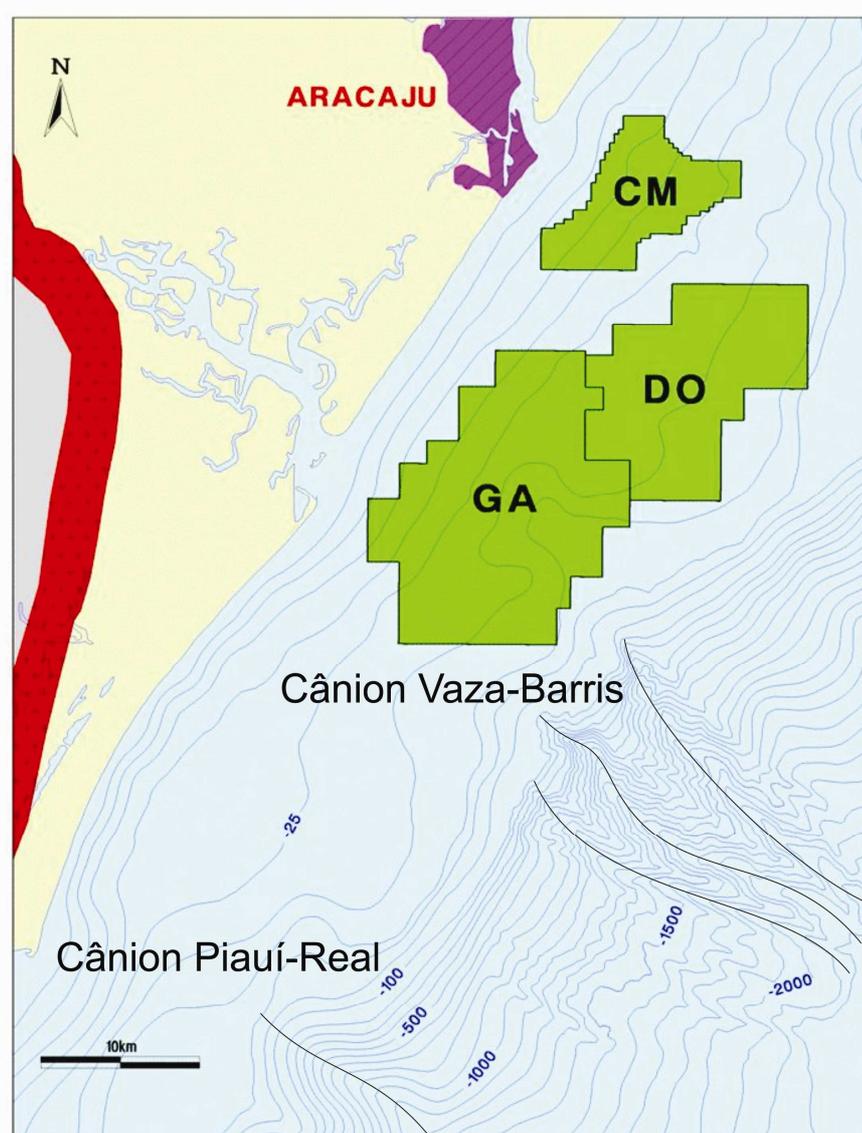
O cânion Sapucaia apresenta próximo à isóbata de 200 m, uma calha estreita e mais extensa que as apresentadas pelos outros dois cânions, suavizando sua declividade a partir dessa profundidade até 3.600 m, quando atinge sua maior largura, que é de 30 km.



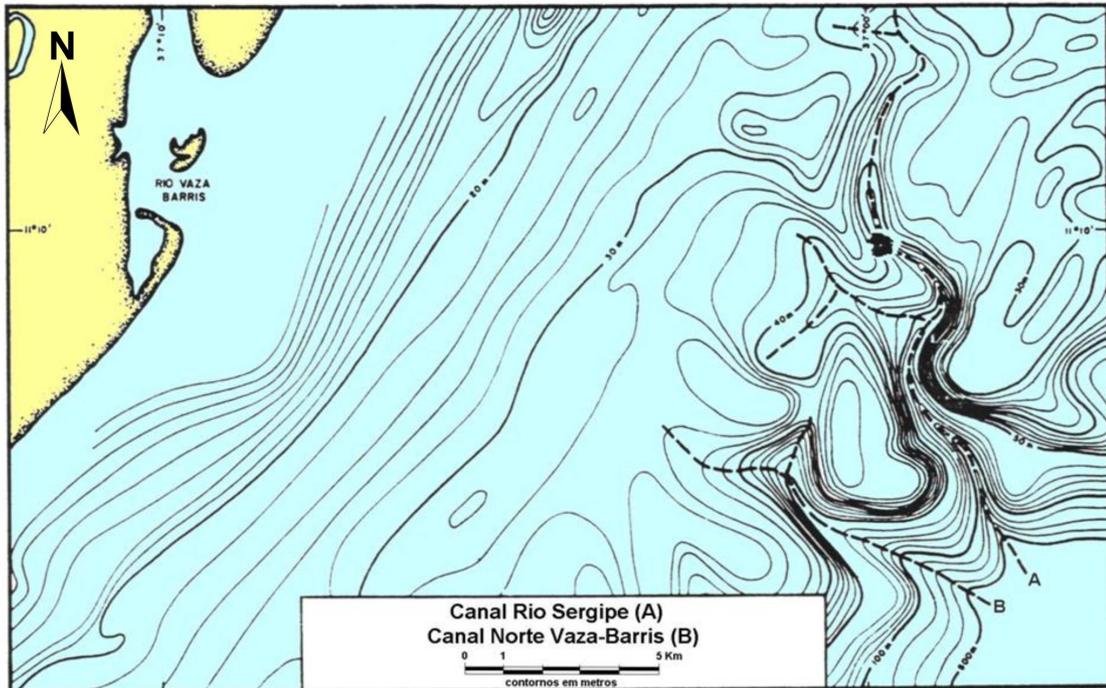
**Figura VI.10.** Perfis de declividade dos cânions submarinos de Sergipe. Fonte: França (1979).

### VI.3.1. Cânions Vaza-Barris e Real

Os cânions Vaza-Barris e Real são de dimensões secundárias em relação aos demais. Contudo, são suficientes para influenciar as áreas da plataforma e do talude continentais. Tal influência é verificada, principalmente, no cânion Vaza-Barris, que atinge a isóbata de 3.600 m (Figura VI.11). Na área da plataforma, esses dois cânions apresentam inflexões entre as isóbatas de 20 e 40 m (Figura VI.12), a partir daí, avançam em direção ao talude (França, 1979).



**Figura VI.11.** Detalhe batimétrico indicando os cânions Vaza-Barris e Piauí-Real.



Fonte: Modificado de Zemruscki et al. (1972)

**Figura VI.12.** Área da plataforma continental no Estado de Sergipe mostrando os canais que dão origem ao cânion Vaza-Barris. Fonte: Modificado de Zemruscki et al. (1972).

### VI.3.2. Cânion Sapucaia

O cânion Sapucaia, equidistante entre os cânions do São Francisco e Japarutuba, exibe dimensões que o posiciona como uma feição secundária em grandeza quando comparada aos dois grandes cânions (Figura VI.6). Este cânion tem largura de 5 km, profundidade 800 m e extensão de 15 km no talude superior e médio.

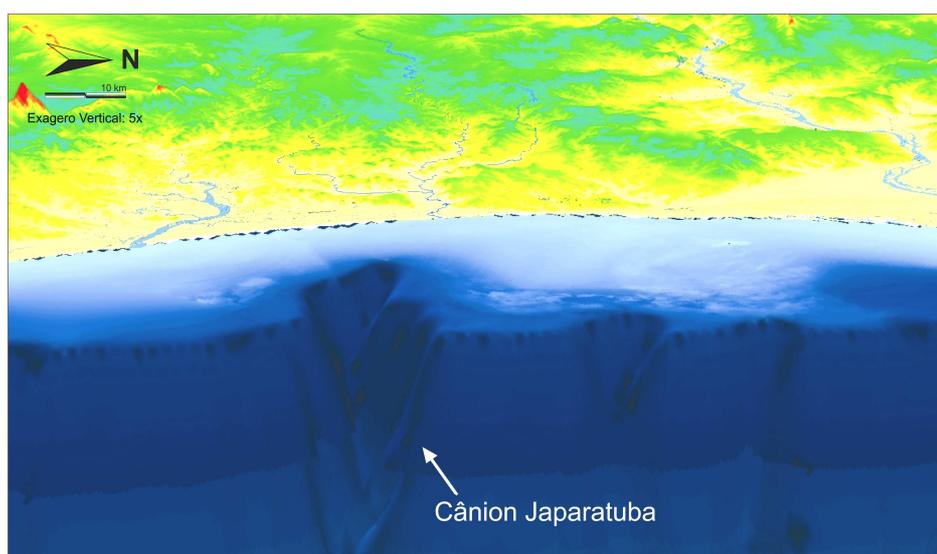
O cânion desenvolve uma calha estreita e íngreme até o nível de 200m de profundidade e suaviza-se em declividade a partir daquele ponto até atingir a maior largura (30 km), na isóbata de 3600 m. Na interpretação de Chaves (1979) este trecho final do cânion Sapucaia resultou, provavelmente, da ação de correntes de turbidez originárias do trecho médio-inferior do talude cortado pelo

cânion. Para Kuenen (1953) esse cânion pode ter sido construído por outros fatores erosivos e deposicionais, em épocas de rebaixamento do nível do mar.

### VI.3.3. Cânion Japarutuba

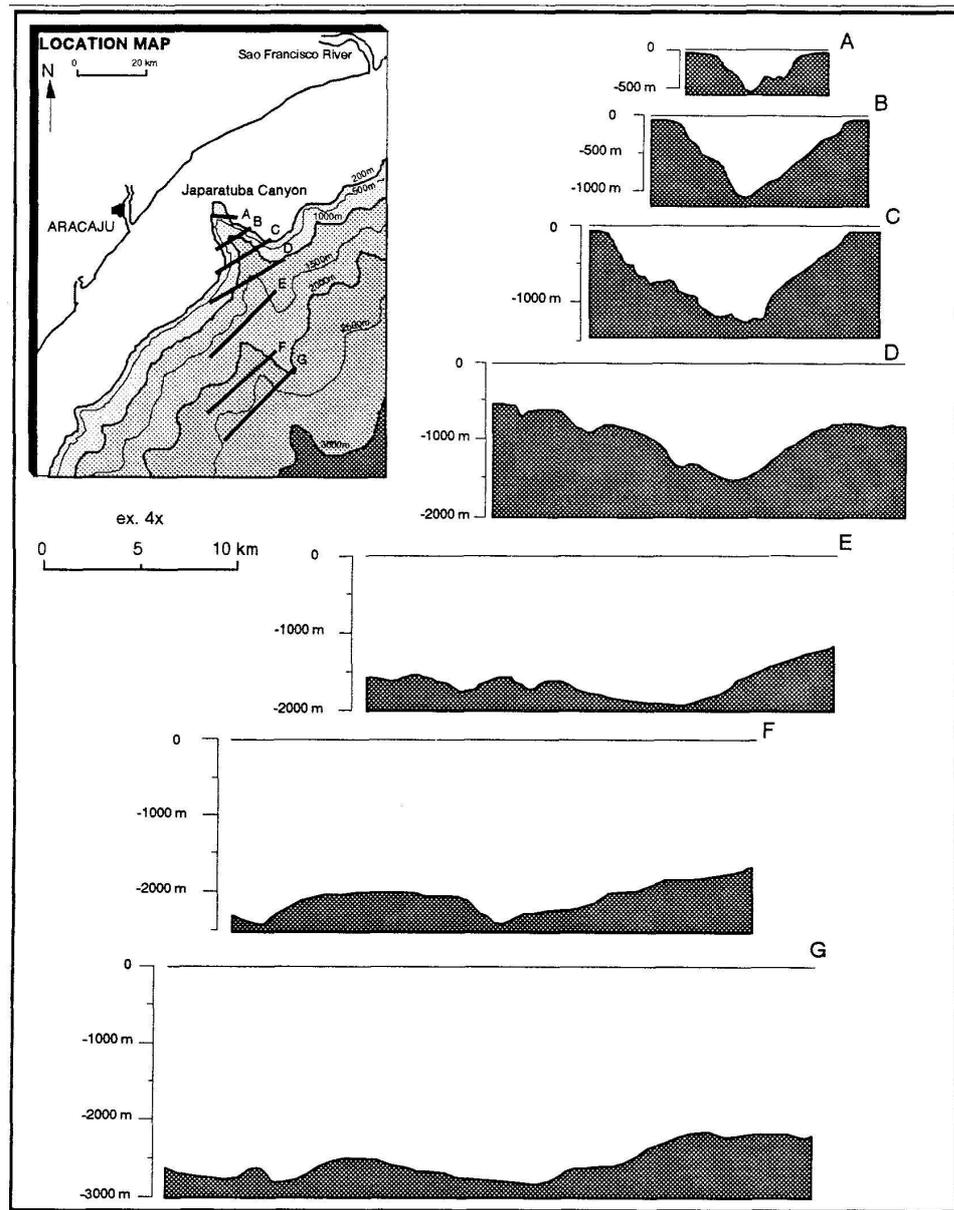
O cânion Japarutuba, que possui dimensões maiores do que o cânion São Francisco, não pode ser diretamente associado ao atual rio Japarutuba em função de sua diminuta bacia de drenagem e pequeno volume de água (Figura VI.13). Não somente a incompatibilidade de tamanho da bacia de drenagem e volume de água do rio Japarutuba com o cânion homônimo, mas também o volume de lama depositado nas cabeceiras do Japarutuba indica a necessidade de um rio de grande volume e capacidade de transporte de sedimento. Este é um grande enigma geológico local que persiste até os dias de hoje.

O cânion Japarutuba tem início a 10 km da linha de costa, com uma largura de 21 km na borda de plataforma. A expressão deste cânion na plataforma se manifesta a partir da isóbata de 30 m (Figura VI.14) e o desnível entre a borda e o fundo do cânion atinge mais de 1.400 m (Figura VI.15).

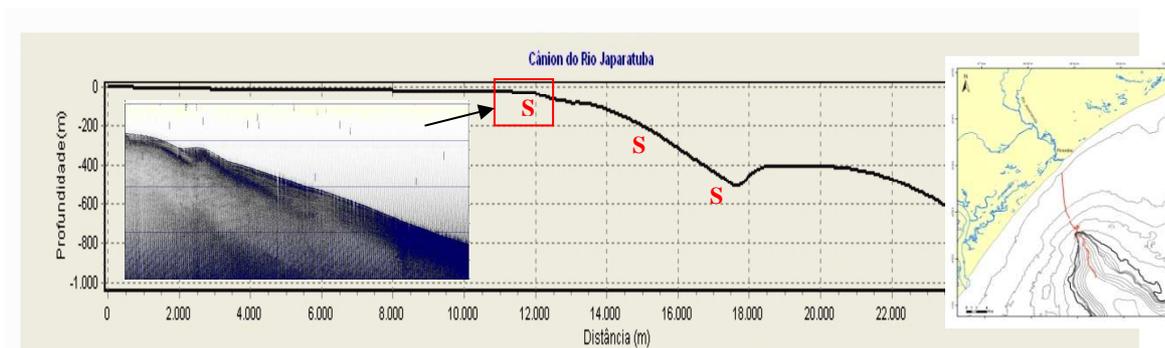


**Figura VI.13.** Modelo digital de terreno com destaque para a incisão do cânion submarino Japarutuba.

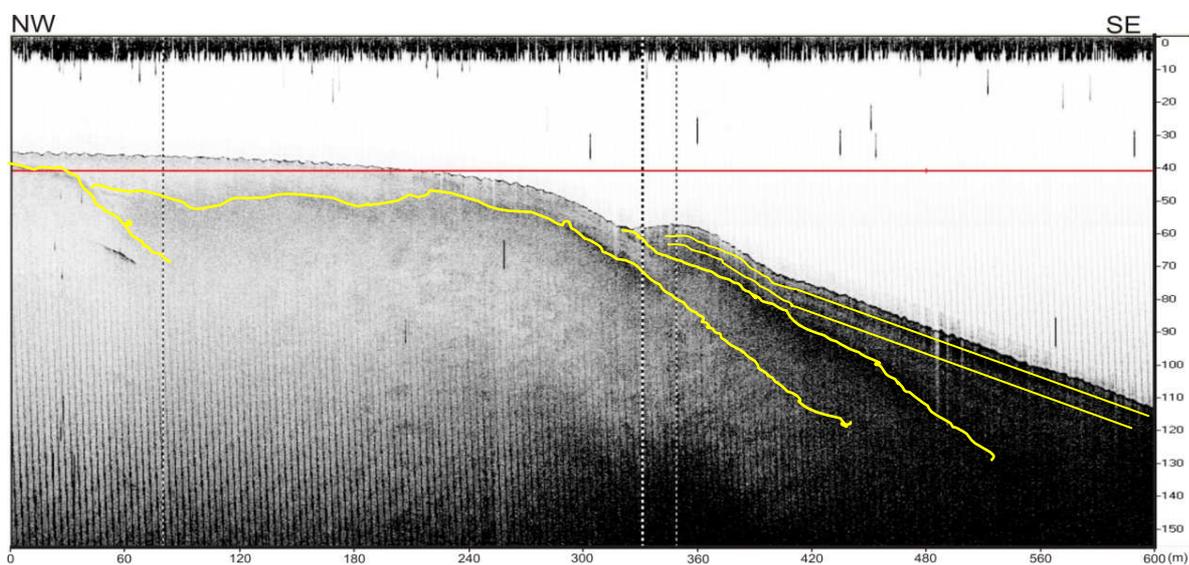
Perfis longitudinais de eco-sonda e sísmica rasa realizados no cânion Japarutuba durante a execução do Projeto Águas Rasas - Geologia (Figuras VI.16 e VI.17) mostram a morfologia próximo à sua cabeceira. Os refletores sísmicos evidenciam sucessivas fases recentes de progradação da plataforma/talude, com preenchimento parcial das cabeceiras do cânion.



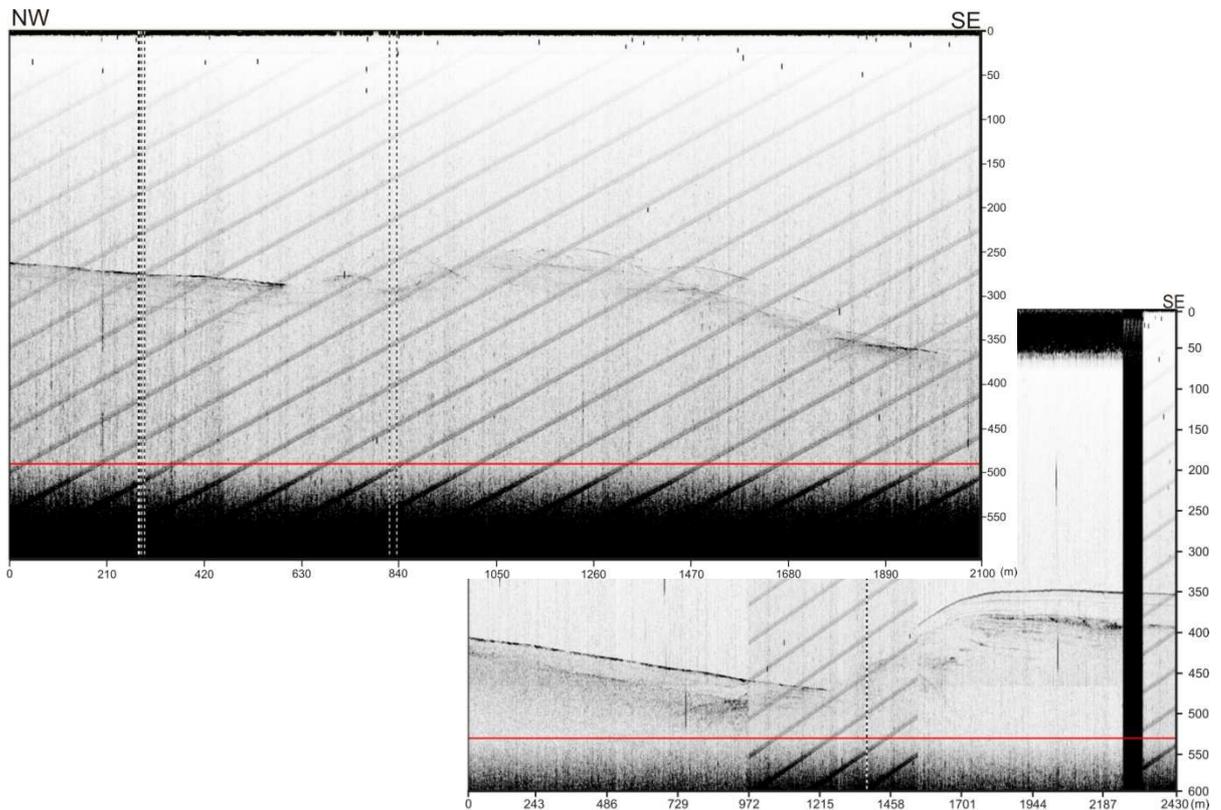
**Figura VI.14.** Séries de perfis transversais derivados de perfis sísmicos no cânion Japarutuba. A forma em V desenvolvida na plataforma (A até C) passa gradualmente mar adentro para um perfil pouco expressivo, largo e raso (D até G). Fonte: Cainelli (1992).



**Figura VI.15.** Perfil batimétrico longitudinal das cabeceiras do cânion Japarutuba com localização dos perfis de sísmica rasa.



**Figura VI.16.** Perfil longitudinal de sísmica rasa (S1) próximo à cabeceira do cânion Japarutuba. Observar cobertura sedimentar lamosa superficial, com espessura de até 15 m. Os refletores sísmicos indicam quatro episódios de progradação do talude.



**Figura VI.17.** Perfis longitudinais de sísmica rasa (S2) no cânion Japarutuba, entre 250 e 350 m de profundidade. Refletores no centro são possíveis sedimentos depositados por fluxos Gravitacionais. Perfil S3 entre 450-500 m de profundidade.

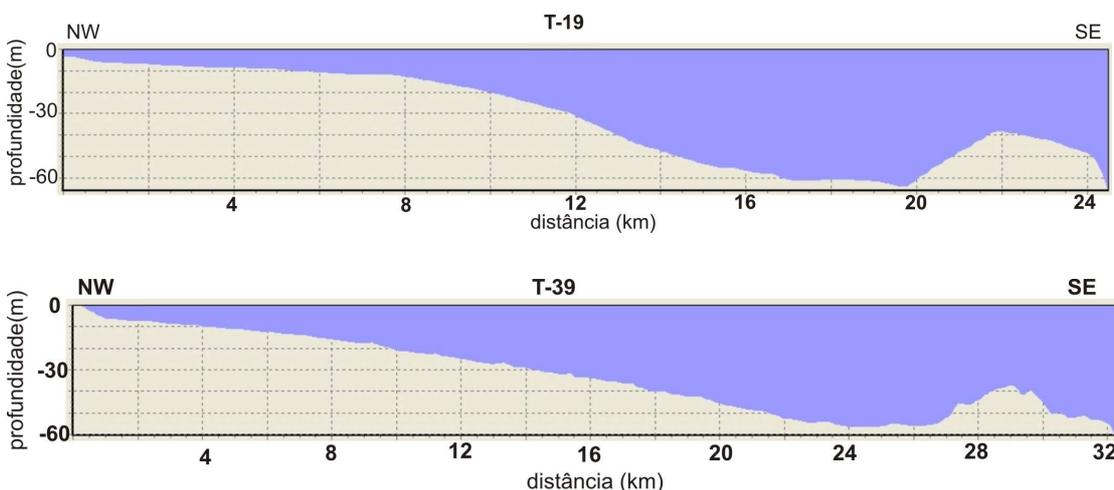
#### VI.3.4. Cânion São Francisco

O cânion São Francisco é uma das principais feições morfológicas da plataforma continental leste do Brasil e pode ser diretamente associado ao rio São Francisco em função da proximidade de sua foz (8 km) e da elevada vazão natural histórica deste rio. A incisão do cânion reduz a quase um terço a largura original da plataforma e se estende por 19 km dentro da plataforma. A expressão do cânion na plataforma pode ser observada a partir da isóbata de 15 m (Figura VI.1). O cânion São Francisco na borda da plataforma tem um desnível da borda para o fundo de 700 m e a profundidade máxima na quebra da plataforma é de 850 m. A largura varia de 2 km na cabeceira do cânion para cerca de 10 km na região da quebra da plataforma. O cânion se estende por 45 km no leito

submarino até gradar para um canal deposicional que forma o leque submarino de mar profundo do São Francisco (CAINELLI, 1992).

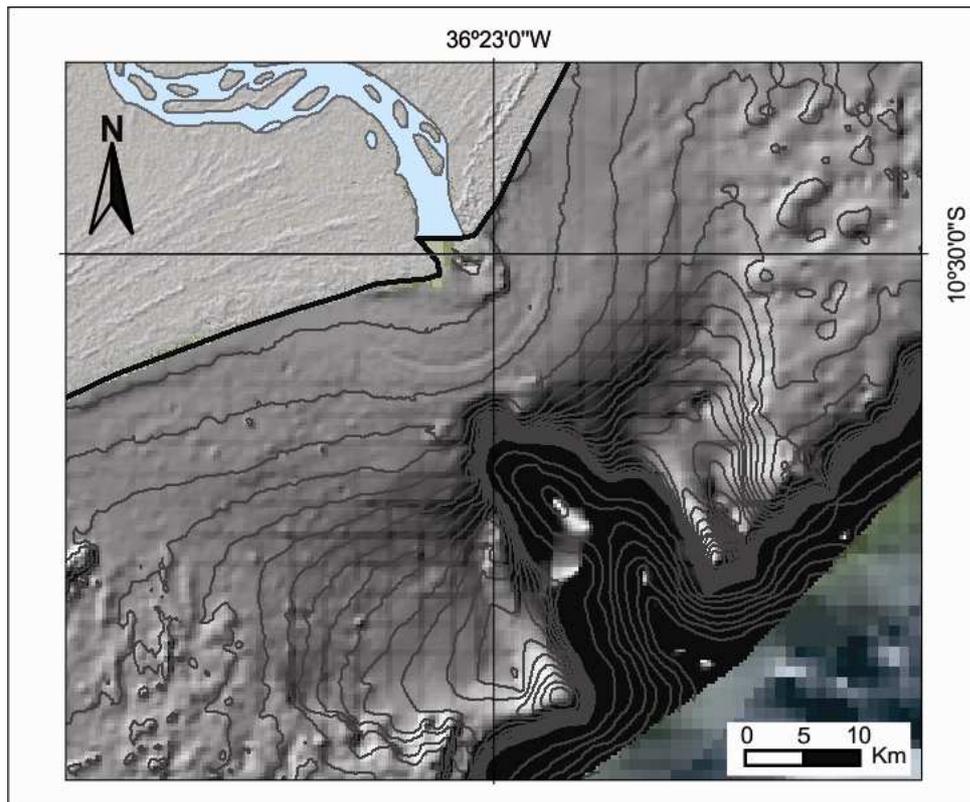
O perfil batimétrico da ramificação norte mostra a depressão entre a zona de deposição lamosa e a borda externa, de natureza carbonática, na borda da plataforma (Figura VI.18). Além do eixo de escavação principal, o cânion se caracteriza pelo desenvolvimento de bifurcações laterais, uma no sentido sul outra no sentido norte (Figura VI.19). Na Figura VI.20 é possível observar a extensa e larga área deposicional com o desenvolvimento de canais distributários submarinos que se formou na base do talude continental e que se estende no sopé continental.

A Figura VI.21 evidencia a gradação da forma transversal erosiva para deposicional em direção ao mar profundo. O cânion escavado profundamente na plataforma pode ser facilmente individualizado e desenvolve uma forma em V. Em direção ao mar profundo junta-se a outros cânions do talude superior (E-F) e perde gradualmente a expressão topográfica, passando para um pequeno canal deposicional confinado entre proeminentes “leves laterais” (G), desenvolvido em um leque submarino com a forma geral externa superior convexa

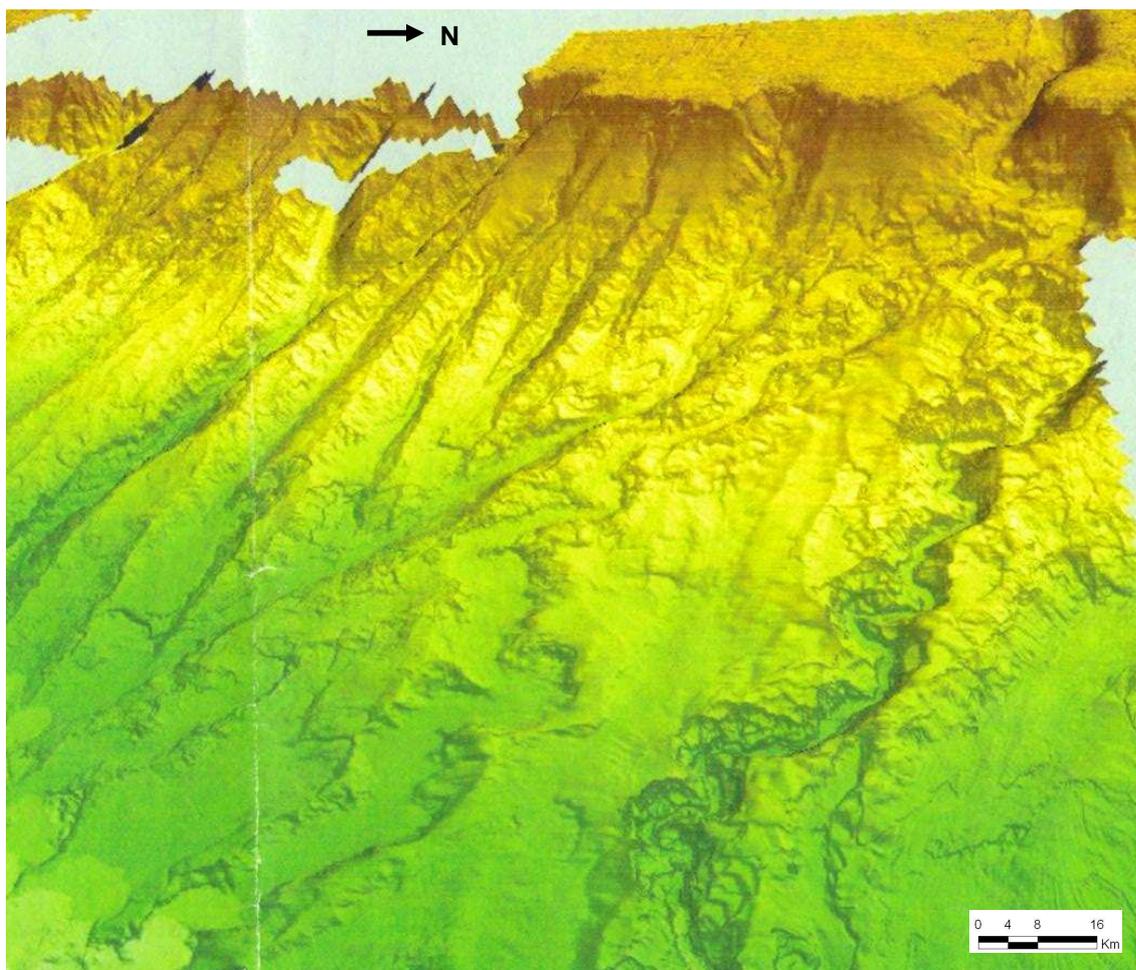


**Figura VI.18.** Perfil batimétrico transversal na ramificação norte (acima) e sul (abaixo) do cânion São Francisco.

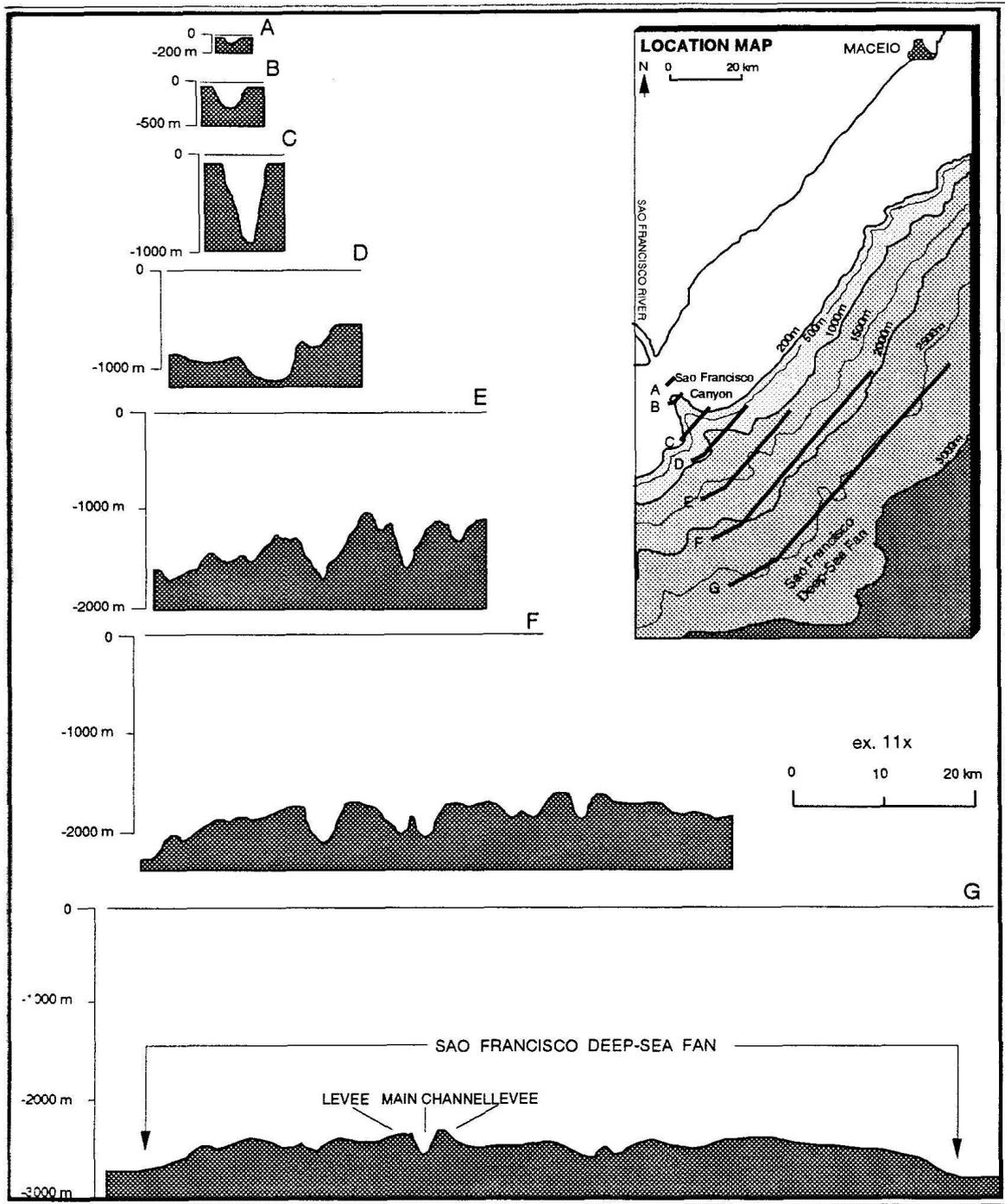
A dispersão lateral da carga de sedimentos lançada pelo rio São Francisco pode ser responsável pelo soterramento dos canais situados na plataforma fronteira a desembocadura dos rios de menor capacidade, como o Sapucaia, que lhe é mais próximo e, assim, apenas as calhas dos cânions secundários situados no talude permaneceram visíveis ao mapeamento (Chaves, 1979).



**Figura VI.19.** Modelo digital de terreno do cânion do RSF e da zona lamosa na plataforma continental. Notar as ramificações para norte e sul.



**Figura VI.20.** Modelo digital de terreno com destaque para a incisão do cânion submarino São Francisco na plataforma e respectiva calha submarina no talude. Fonte: PETROBRAS, 2011.



**Figura VI.21.** Perfis sísmicos transversais derivados de perfis sísmicos ao longo do cânion e leque submarino do rio São Francisco. Fonte: Cainelli, 1992.

### VI.3.5. Vales Incisos

Os vales incisos conforme já descritos por Boyle (1969) e Coutinho (1976), correspondem à antigas drenagens afogadas e parcialmente preenchidas por sedimentos. Os vales aparecem aonde às drenagens que chegam ao litoral são de pequena envergadura e transportam pouco sedimento e onde há o predomínio de carbonatos. Alguns vales cortam a plataforma transversalmente, em forma retilínea e outros formam meandros ou ainda apresentam bifurcações denotando a presença de tributários.

#### ***Vale inciso do rio Vaza-Barris e Sergipe***

Na plataforma continental situada na região em frente aos rios Vaza-Barris e Sergipe foram identificadas feições alongadas e sinuosas, interpretadas como incisões resultantes de paleocanais fluviais. O mapa batimétrico (Figura VI.1) e o de drenagens submarinas (Figura VI.8) evidenciaram bem estas duas paleodrenagens meandantes cortando a plataforma, muito bem contornadas pelas isóbatas de 30 a 35 m e que podem ser associadas aos atuais rios Vaza-Barris e Sergipe. Os paleocanais iniciam próximo à profundidade de 30 metros e se estendem até a profundidade de 50 metros, variam de 500 a 1500 m de largura.

#### ***Vale inciso do Sapucaia***

Uma depressão alongada ocorre de forma pouco evidenciada no flanco norte do Alto de Ponta dos Mangues, entre este e os recifes da Pedra do Robalo. Esta depressão pode ser visualizada no modelo digital de terreno (Figura VI.2) e no mapa de drenagens submarinas (Figura VI.8). Esta depressão alongada e aparentemente preenchida por sedimentos terrígenos e ocorre no prolongamento

do cânion Sapucaia, o qual deve estar vinculada, mas que não se liga diretamente ao cânion, uma vez que é recoberta pelos bancos carbonáticos da borda da plataforma norte de Sergipe.

### ***Vales incisos dos rios Coruripe, Poxim e Jequiá***

Na plataforma continental situada na região em frente aos rios Coruripe e Poxim, foram identificadas feições alongadas e sinuosas, interpretadas como incisões resultantes de paleo-canais fluviais. O mapa batimétrico evidenciou duas paleodrenagens meandranes e com tributários cortando a plataforma, muito bem contornadas pela isóbata de 25 metros e que podem ser associadas aos rios Cururipe, Poxim e Jequiá (Figura VI.2).

Os paleocanais iniciam próximo à profundidade de 20 metros e se estendem até a profundidade de 50 metros, variam de 450 a 1500 m de largura e o desnível da borda até o fundo varia entre 10 e 20 m. O paleocanal associado ao rio Coruripe já foi citado anteriormente por França *et al.* (1975) como um elemento de destaque morfológico da área. É interessante notar que os vales têm boa preservação indicando pequena taxa de colmatação. Segundo Boyer (1969) alguns tem seu vale em forma de "U" preenchidos com sedimentos acusticamente transparentes e outros permanecem sem sedimentos.

## **VI.4. FEIÇÕES MORFOLÓGICAS DA PLATAFORMA SUL DE SERGIPE**

A plataforma continental no trecho de Aracaju até o rio Piauí-Real, é bastante estreita e de relevo relativamente plano. Apresenta uma largura média de 22 km e uma largura mínima de 8 km nas proximidades de Salvador (França, 1979). Defronte a cidade de Aracaju a largura da plataforma é em torno de 28 km.

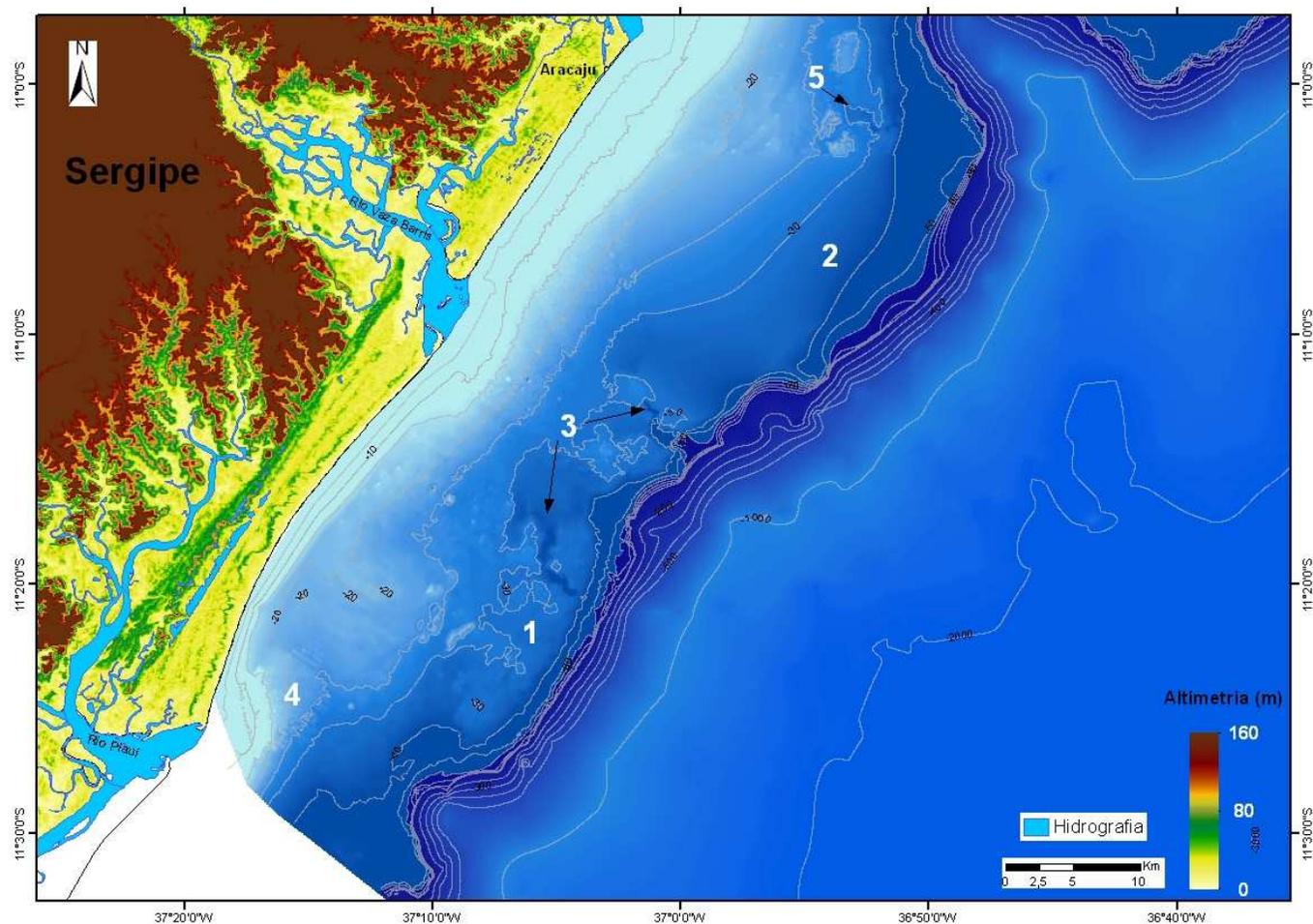
As principais feições morfológicas presentes na plataforma continental sul de Sergipe são bancos carbonáticos e vales incisos. Estas feições estão realçadas no detalhe do mapa batimétrico (Figura VI.22).

### **Banco carbonático de borda de plataforma sul de Sergipe**

Ao longo da borda externa da plataforma sul de Sergipe, desenvolve-se um extenso banco carbonático, interrompido pelos cânions Piauí e Vaza-Barris. O banco carbonático na plataforma sul de Sergipe tem comprimento máximo de 35 km e largura máxima de 6 km. O relevo é rugoso e se destaca no mapa batimétrico e no modelo digital de terreno (Figura VI.22).

### **Barra de desembocadura do rio Piauí-Real**

Na foz atual do rio Piauí-Real desenvolve-se uma barra arenosa, restrita à plataforma interna (Figura VI.22), até a profundidade máxima de 15 m. Esta barra de desembocadura fluvial compõe a frente deltaica do lóbulo deltaico atual do rio Piauí-Real.



**Figura VI.22.** Detalhe do mapa batimétrico da plataforma continental sul de Sergipe, na bacia sedimentar Sergipe-Alagoas, que revelam: (1 e 2) banco carbonático da borda da plataforma; (3) vale inciso do rio Vaza-Barris; (4) Foz do rio Piauí-Real e (5) vale inciso do rio Sergipe.

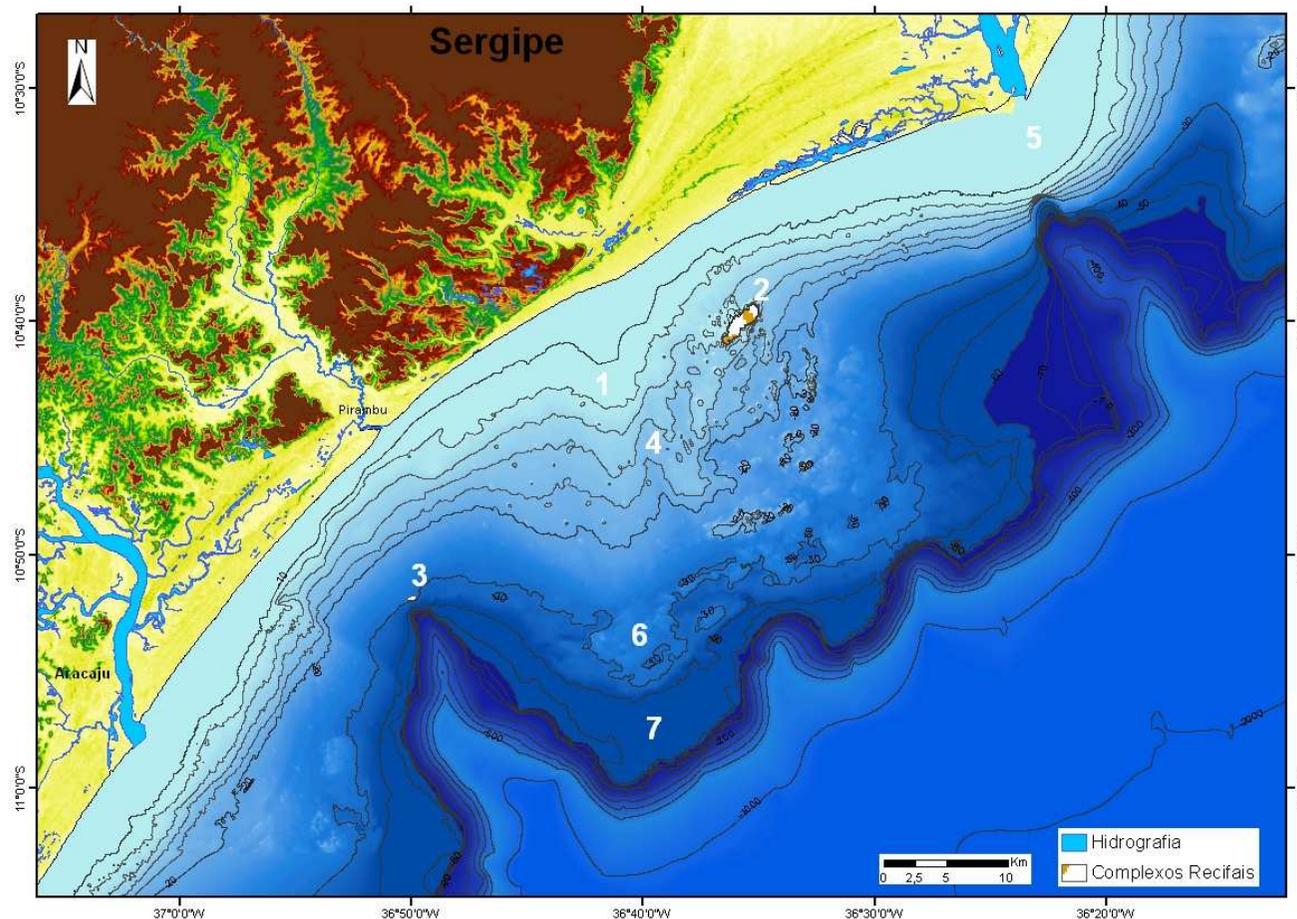
## VI.5. FEIÇÕES MORFOLÓGICAS DA PLATAFORMA NORTE DE SERGIPE

As principais feições morfológicas presentes na plataforma continental norte de Sergipe são banco de carbonatos, alinhamentos de arrecifes e um alto morfológico perpendicular à linha de costa. Estas feições estão realçadas no detalhe do mapa batimétrico (Figura VI.23) e descritas a seguir.

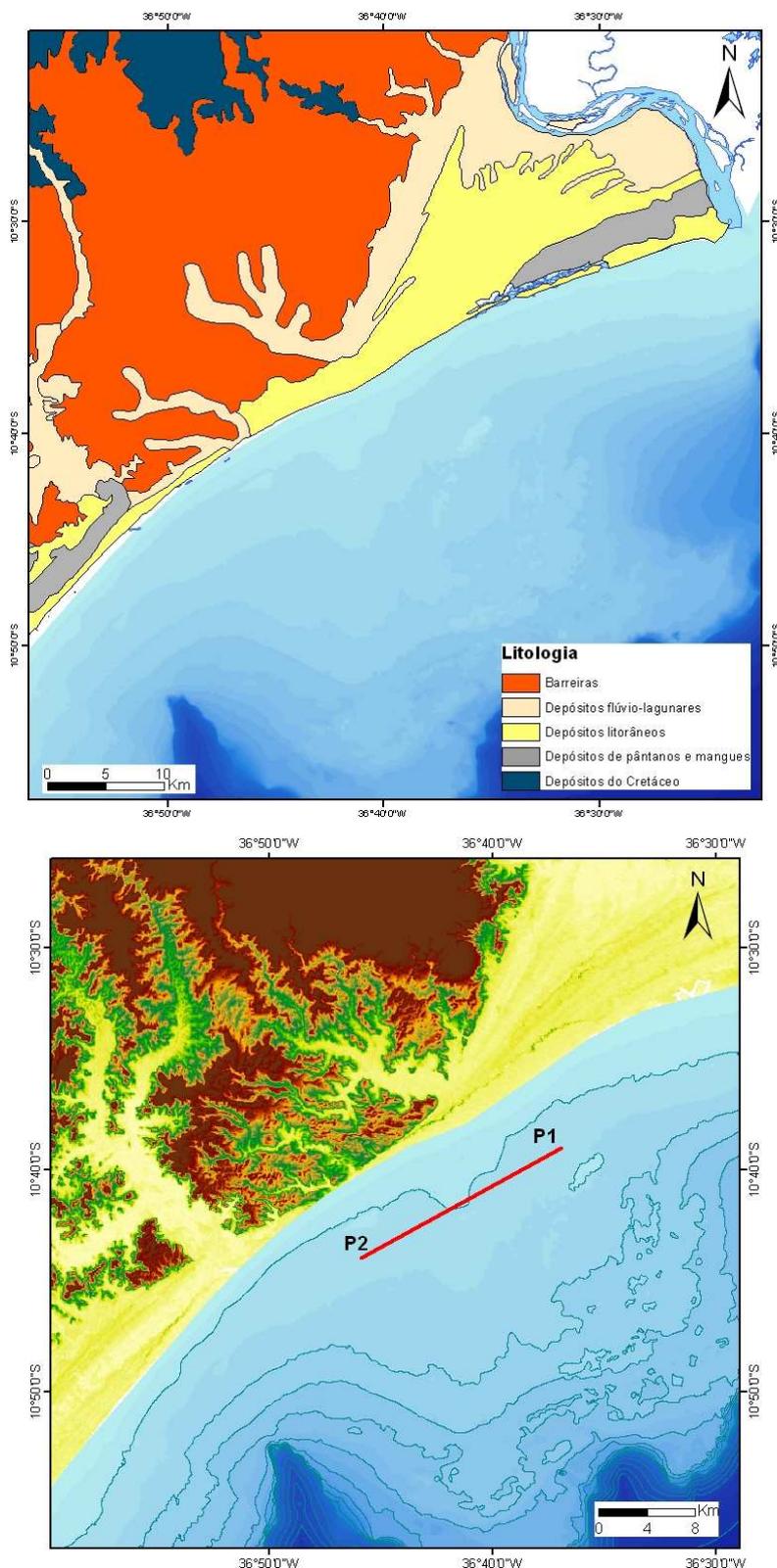
### Alto morfológico submarino de Ponta dos Mangues

Feição geomorfológica evidenciada pelo deslocamento das linhas batimétricas no sentido do oceano, na região da plataforma continental situada em frente à Ponta dos Mangues (Figura VI.23), e que foi designada no presente projeto de “alto submarino de Ponta dos Mangues”. Apresenta um relevo submarino ligeiramente mais elevado que o entorno e um alinhamento no sentido N-S que atravessa quase que inteiramente a plataforma continental, desde a linha de costa até o limite com a plataforma externa. Esta feição não era evidenciada nos mapas batimétricos anteriores, sendo realçada no novo mapa batimétrico feito após a integração e processamento dos dados batimétricos existentes nas folhas de bordo da Marinha do Brasil.

Esta elevação do fundo marinho plataformal coincide com o prolongamento do limite sul da planície deltaica do rio São Francisco, constituindo-se, na região costeira, no divisor entre as atuais bacias hidrográficas dos rios São Francisco e Japarutuba (Figura VI.24A). Neste local os sedimentos do Grupo Barreiras avançam até a linha de praia atual, constituindo-se no único local da região norte de Sergipe onde as paleofalésias do Barreiras estão adjacentes à praia atual (Figura VI.24B).

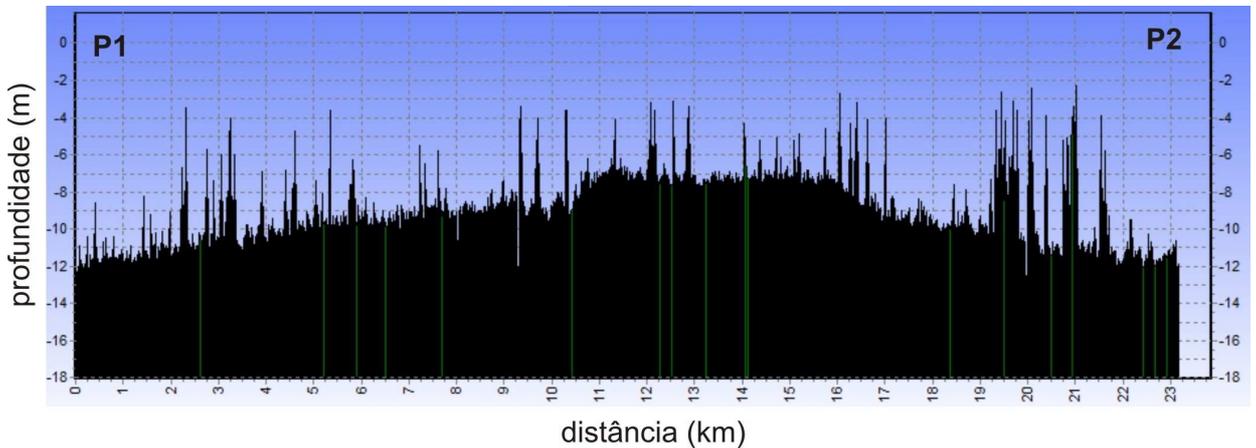


**Figura VI.23.** Detalhe do mapa batimétrico da plataforma continental norte de Sergipe, que revelam: (1) a presença de um alto morfológico na região de Ponta dos Mangues, entre os setores associados à foz dos rios São Francisco e Japarutuba; (2) recife submerso da Pedra Robalo; (3) recife submerso do Grageru; (4) vale inciso do Sapucaia; (5) barra de desembocadura do rio São Francisco; (6) banco carbonático da borda da plataforma e (7) terraço da borda da plataforma.



**Figura VI.24.** Acima, mapa geológico da região costeira norte de Sergipe (modificado de CPRM, 1997) e abaixo, localização do perfil de eco-sonda no alto de Ponta dos Mangues.

O alto de Ponta dos Mangues também foi identificado nos perfis gerados com o ecobatímetro e o perfilador de sub-fundo (Figura VI.25) realizados na plataforma continental. No perfil batimétrico transversal observa-se a amplitude máxima de profundidade de 5 m.



**Figura VI.25.** Perfil de ecossonda transversal ao alto de Ponta dos Mangues (sentido NE-SW).

### **Recifes submersos de Ponta dos Mangues (Pedra do Robalo)**

Na região norte de Sergipe, entre as profundidades de 18 a 15 m (na base) e 10 a 6 m (no topo), situadas a aproximadamente 7 km da linha de costa, foi evidenciado no mapa batimétrico um conjunto de anomalias morfológicas positivas. Trata-se de um conjunto de elevações recifais descontínuas e alinhadas no fundo marinho, apresentando uma curvatura côncava voltada para nordeste e, com a peculiaridade de acompanhar a curvas batimétricas que delineiam o alto morfológico de Ponta dos Mangues (Figura VI.23). Estes recifes submersos não tinham sido evidenciados nos mapas batimétricos anteriores, apesar de já serem conhecidos pelos pescadores da região. O recife principal foi nomeado pelos pescadores como Pedra da Salema e foi posteriormente designada no mapa de sensibilidade ambiental a derrames de óleo como Pedra do Robalo (PETROBRAS, 2007).

A amostragem de sedimentos de fundo confirmou a presença de carbonatos na parte superior do recife, mas não foi possível obter amostras da base sobre qual se desenvolveu estas construções carbonática. Porém, por analogia com recifes existentes na plataforma sul de Alagoas, possivelmente a base da formação seja de arenitos. As fotos obtidas pelo Projeto Tamar (ICMBIO) confirmam o desenvolvimentos de construções carbonáticas na porção superior da Pedra do Robalo (Figuras VI.26 e VI.27).

Neves *et al.* (2005) identificaram assembléias de corais zooxanthellate na Pedra do Robalo (10° 40'20"S e 36° 36'10"W). Estes autores destacam que esta descoberta destoa do conhecimento anterior que apontava o rio São Francisco como uma efetiva "barreira biológica", por ser o maior canal fluvial adentrando o Atlântico, entre o rio Amazonas e o rio de La Plata, supostamente impedindo o desenvolvimento de corais no Estado de Sergipe.

O não conhecimento deste recife de corais submerso tem contribuído para a disseminação errônea da concepção de que a área sob influência do rio São Francisco pode ser classificada como "zona desprovida de corais". As espécies de corais identificadas por Neves *et al.* (2005) são relacionadas na Tabela VI.1, onde constam as espécies endêmicas do Brasil: *Siderastrea stellata* e *Mussismilia hispida*.

**Tabela VI.1.** Espécies de corais identificadas na Pedra do Robalo. Fonte: Neves *et al* (2005).

Locality	Species
<b>Recife do Robalo</b>	<i>Agaricia agaricites</i> (Linnaeus, 1758) <i>Siderastrea stellata</i> Verrill, 1868 <i>Porites astreoides</i> Lamarck, 1816 <i>Favia gravida</i> Verrill, 1868 <i>Montastraea cavernosa</i> (Linnaeus, 1767) <i>Mussismilia hispida</i> Verrill, 1902 <i>Mussismilia harttii</i> Verrill, 1902 <i>Scolymia</i> sp.

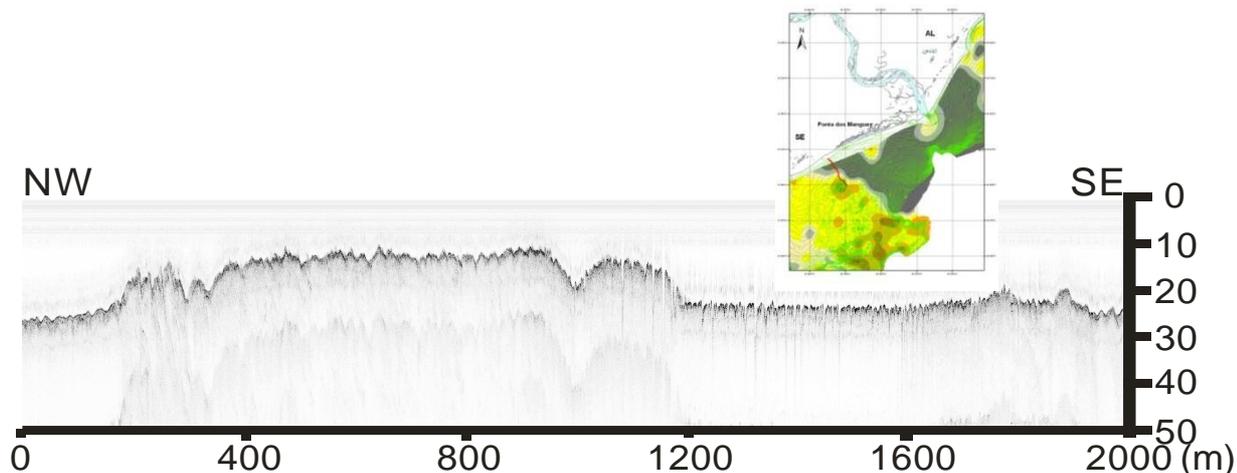


**Figura VI.26.** Construções carbonáticas do topo da Pedra do Robalo.  
Cortesia do Projeto Tamar (ICMBIO).

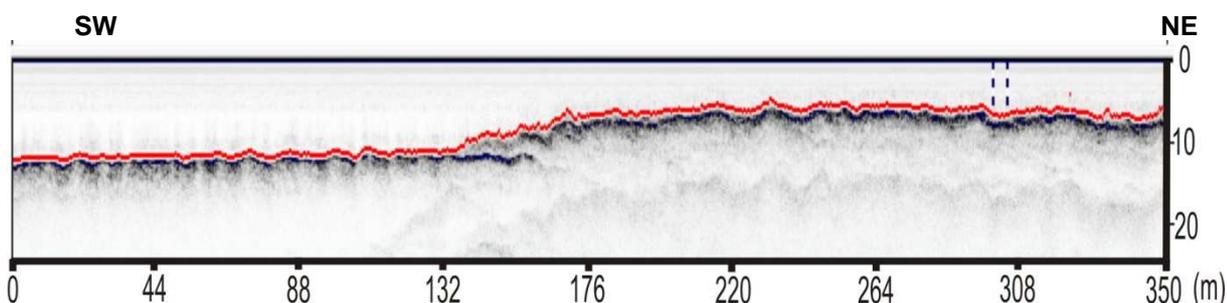


**Figura VI.27.** Construções carbonáticas do topo da Pedra do Robalo.  
Cortesia do Projeto Tamar (ICMBIO).

A configuração desta feição topográfica submarina foi analisada através de levantamentos de perfis de sísmica rasa (Figuras VI.28 e VI.29), os quais mostram que as superfícies de topo se elevam entre 5 a 8 m do fundo.



**Figura VI.28.** Perfil de sísmica rasa transversal na Pedra do Robalo.



**Figura VI.29.** Perfil de sísmica rasa longitudinal na Pedra do Robalo.

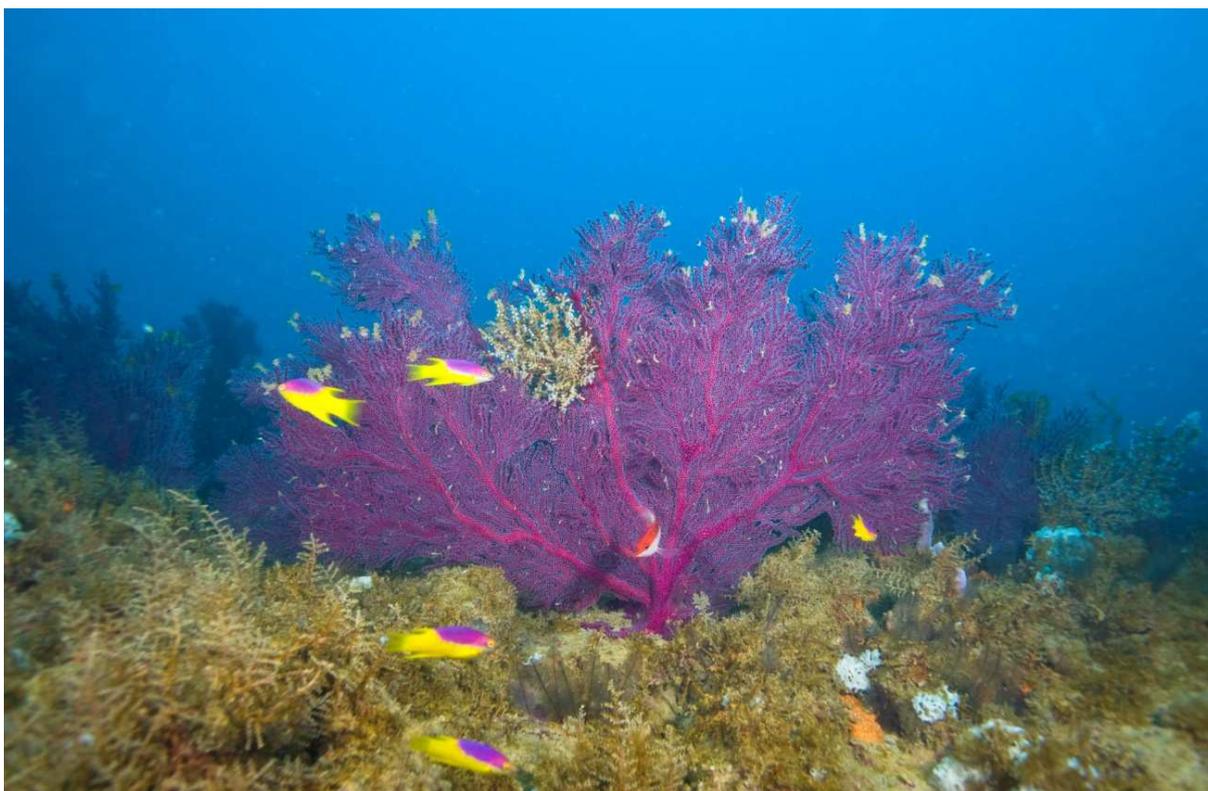
### **Recife submerso Pedra do Grageru (ou Guagiru)**

Esta feição geomorfológica não consta dos mapas batimétricos, mas foi objeto de estudo seguindo as indicações dos pescadores da região do rio Japarutuba. Estes pescadores forneceram a informação da existência de uma “pedra” submersa no ápice do cânion Japarutuba, conhecida como “Pedra do Grageru ou Guagiru”. Esta feição topográfica também é conhecida pelos pela equipe técnica do Projeto Tamar-ICMBIO, cuja sede esta localizada na cidade de

Pirambu. Neves *et al.*, (2005) destacou que este recife é constituído por corais, em uma região anteriormente considerada desprovida de corais (Figura VI.30).

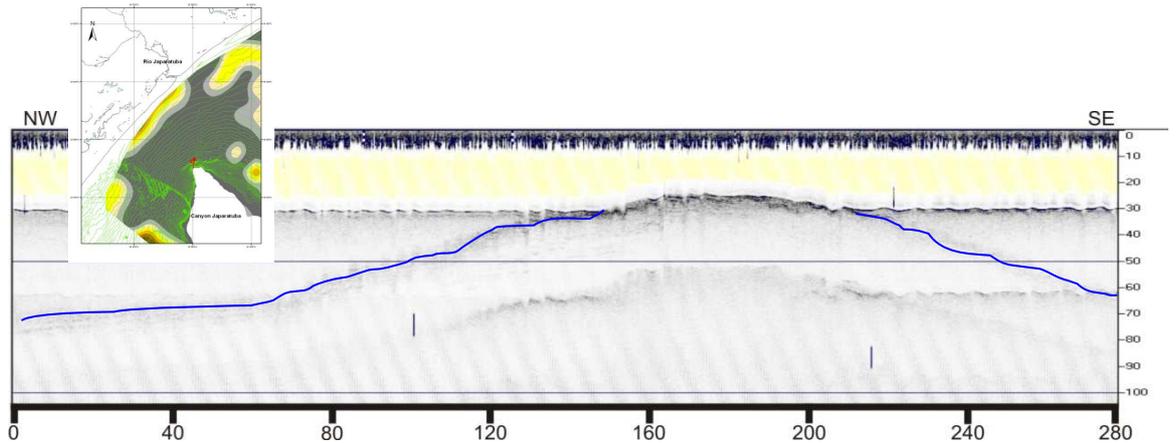
O recife submerso está inserido em um relevo plataformal homogêneo, com curvas de profundidades equidistantes, que se desenvolve na zona de sedimentação lamosa frontal ao rio Japarutuba. Está localizado a uma distância de 10 km da linha de costa, próximo ao ponto de quebra da plataforma, no ápice do cânion Japarutuba (coordenadas Datum WGS84: latitude 10,862972 e longitude 36,830778), com uma profundidade aproximada de 30 m na base e 25 no topo. As formações recifais se elevam a aproximadamente 5 m do fundo, em uma área de aproximadamente 0,4 km<sup>2</sup>. As dimensões da Pedra do Grageru são de 50 m de largura e 3 km de comprimento.

De acordo com informações obtidas em 2005 pela equipe técnica da Expedição Cetáceos do Nordeste, esta feição morfológica é uma formação calcária com floresta de gorgônias e corais negros. A espécie de coral *Scolymia welsii* foi registrada em profundidade de 27 metros. Segundo Neves *et al.*, (2006) *Scolymia welsii* é a espécie de coral que domina a pedra do Grageru. Neves *et al.*, (2005) identificaram duas espécies de corais Scleractinia: *Montastraea cavernosa* e *Madracis decactis*.



**Figura VI.30.** Pedra do Grageru, com destaque para corais (gorgônias).  
Foto: cortesia do Projeto Tamar (ICMBIO).

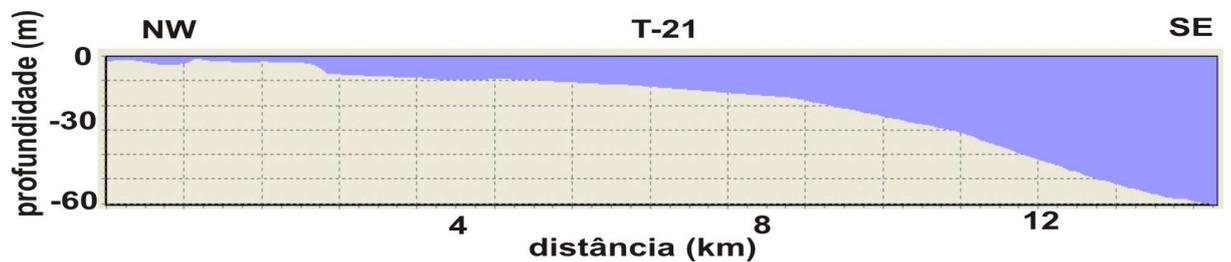
Os perfis de ecossonda e a perfilagem de subfundo (sísmica rasa) (Figura VI.31), mostraram que a feição topográfica submarina da Pedra do Grageru é uma elevação do substrato da plataforma. Esta feição pode ser observada até 50 m abaixo do fundo submarino atual e possivelmente é formada por arenitos na base sobrepostos por carbonatos. A Pedra do Grageru está sendo soterrada por sedimentos lamosos.



**Figura VI.31.** Perfis de sismica rasa da Pedra do Grageru. Observa-se que os flancos do recife estão soterrados por sedimentos lamosos e podem ser delineado até 50 m abaixo do fundo marinho.

**Barra de desembocadura do rio São Francisco**

Na foz atual do rio São Francisco desenvolve-se uma barra arenosa em forma de semi-círculo, restrita à plataforma interna (Figura VI.32), até a profundidade máxima de 6 m. Esta barra de desembocadura fluvial compõe a frente deltaica do lóbulo deltaico atual do rio São Francisco.



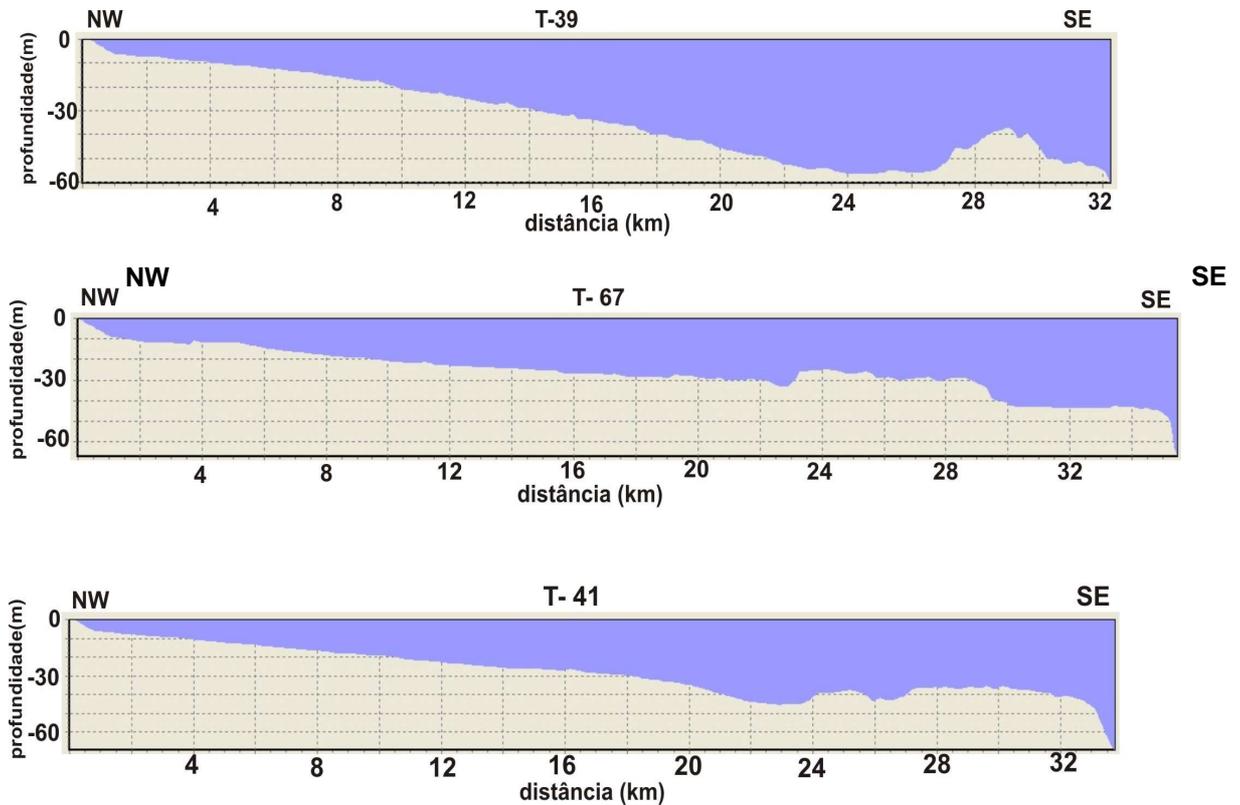
**Figura VI.32.** Perfil batimétrico em frente à foz do rio São Francisco, com destaque para a barra de desembocadura da frente deltaica do rio São Francisco.

### **Banco carbonático de borda de plataforma norte de Sergipe**

Ao longo da borda externa da plataforma continental compreendida desde o sul de Alagoas até o norte de Sergipe, desenvolve-se um extenso banco carbonático, que é interrompido pelos cânions São Francisco e Japarutuba. O banco carbonático na plataforma norte de Sergipe tem comprimento máximo de 42 km e largura máxima de 12 km. O relevo é rugoso e, em vários setores, se apresenta mais elevado que o relevo do entorno, se destaca no mapa batimétrico e no modelo digital de terreno. Na região da zona lamosa associada ao rio São Francisco, tanto ao norte quanto ao sul, desenvolve-se uma depressão no contato entre a zona lamosa e o banco carbonático (Figura VI.33).

### **Terraços na borda plataforma**

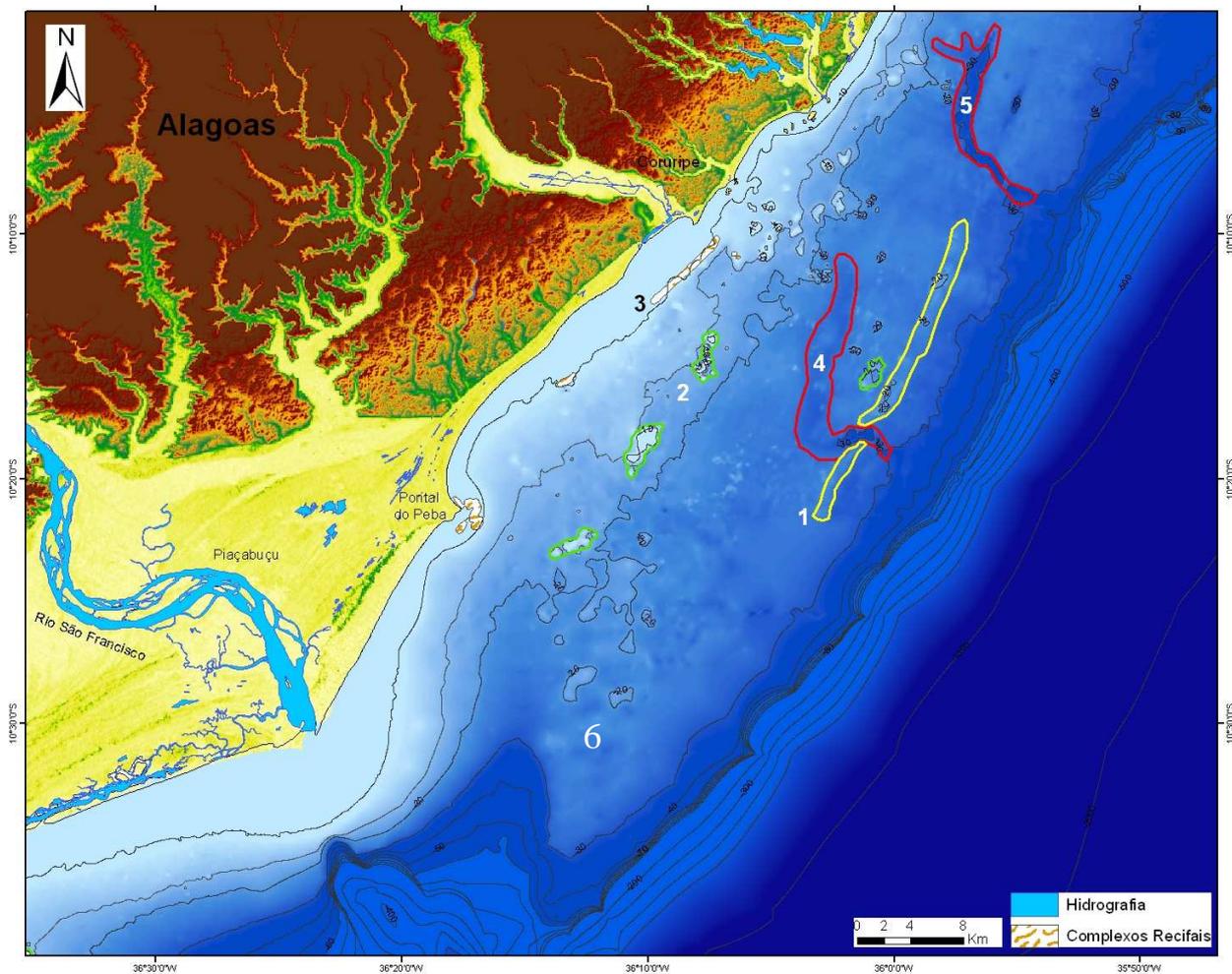
Na borda externa da plataforma, no prolongamento do alto de Ponta dos Mangues, foi identificado um patamar na profundidade de 40 metros, ocupado atualmente por um extenso e contínuo banco carbonático (Figura VI.33).



**Figura VI.33.** Perfis batimétricos transversais na plataforma norte de Sergipe. À direita, destaca-se o banco carbonático da borda da plataforma. No perfil T-67, a borda da plataforma é formada por um terraço aos 40 m de profundidade.

## VI.6. FEIÇÕES MORFOLÓGICAS DA PLATAFORMA SUL DE ALAGOAS

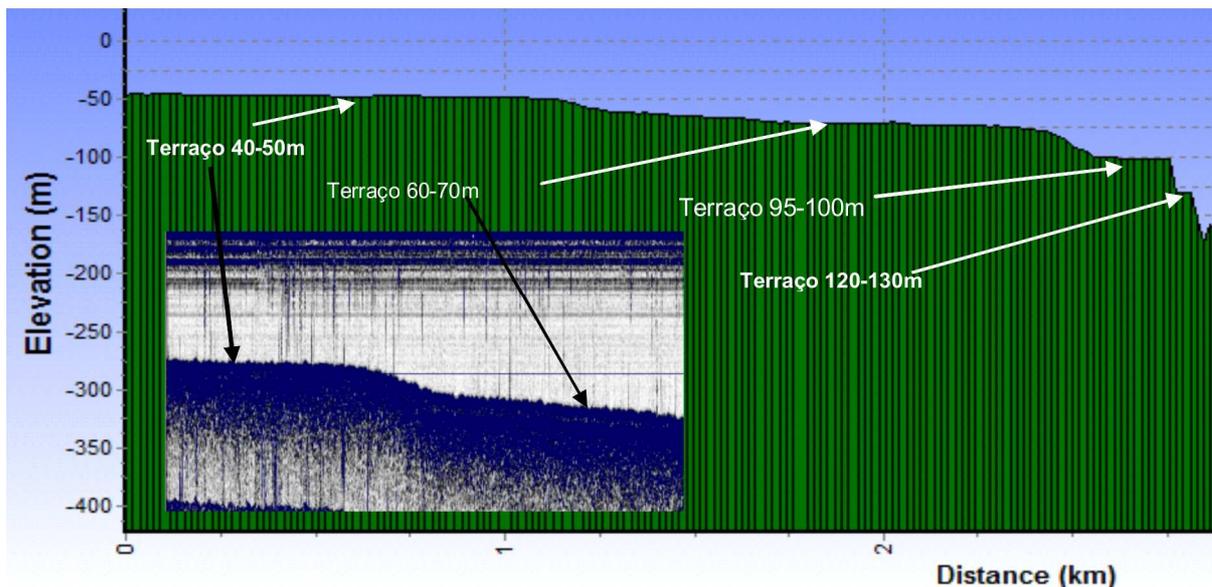
As principais feições morfológicas presentes na plataforma continental sul de Alagoas são terraços, vales incisos, banco de carbonatos e alinhamentos de arrecifes. Estas feições estão realçadas no detalhe do mapa batimétrico (Figura VI.34) e nos modelos digital de terreno e são descritas a seguir.



**Figura VI.34.** Detalhe do mapa batimétrico, evidenciando as feições morfológicas: alinhamentos de recifes (1, 2 e 3), vales incisos (4 e 5) e banco carbonático da borda (6) na plataforma sul de Alagoas.

### **Terraços submarinos na quebra da plataforma continental**

Na quebra da plataforma continental e talude superior foram identificados quatro terraços submarinos nas profundidades de 120-130 m, 95-100 m, 60-70 m e 40-50 m. Os perfis obtidos com ecosonda (Figura VI.35) evidenciam estes patamares, aos quais foram considerados indicativos de antigas posições de estabilização do nível do mar.



**Figura VI.35.** Perfil batimétrico com os quatro terraços identificados na quebra da plataforma e um terraço na borda da plataforma. No detalhe, perfil de sísmica rasa dos terraços de 40-50m e 60-70m.

### **Terraços na plataforma**

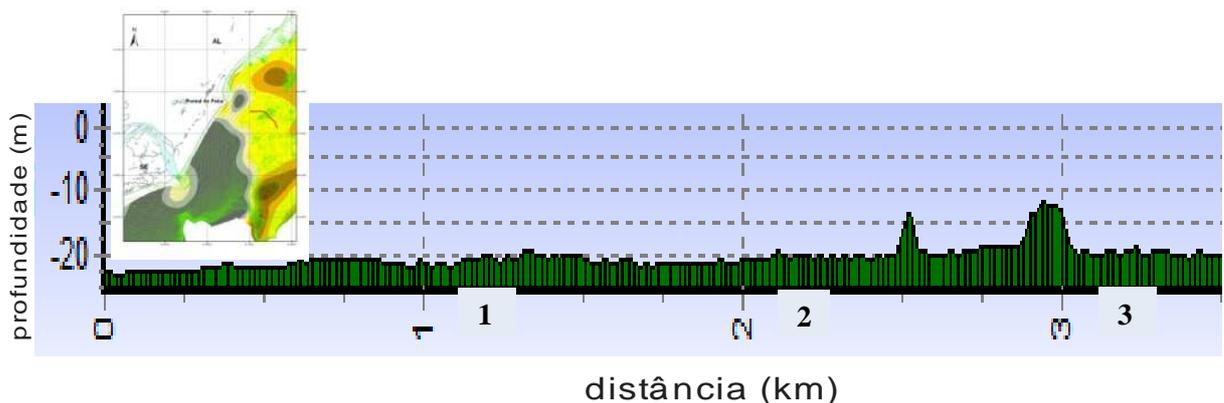
O patamar existente na borda da plataforma continental na profundidade de 40 metros (variável entre 42 e 38m) foi identificado nos perfis de sísmica rasa e ecosonda (Figura VI.35). Este patamar é atualmente ocupado por um extenso e contínuo banco carbonático situado na plataforma externa.

## **Recifes submersos**

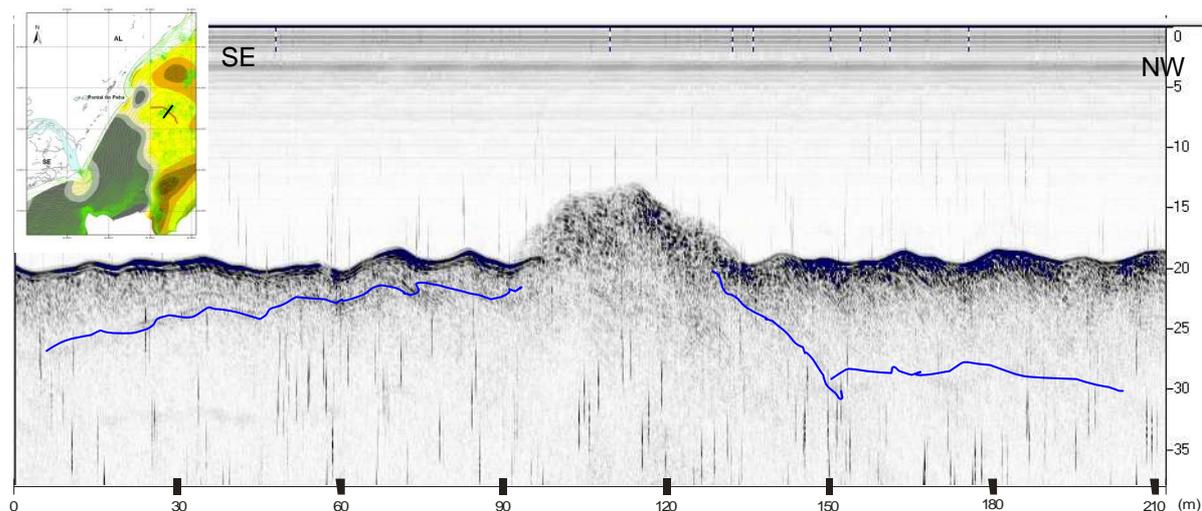
Três conjuntos de recifes alinhados e paralelos à linha de costa foram identificados no mapa batimétrico (Figura VI.34) da plataforma continental sul de Alagoas, posicionados nos níveis batimétricos de 25-20 m, 15-5 m e 10-0 m. Estes recifes são constituídos por arenitos recobertos por construções carbonáticas.

O primeiro alinhamento de recifes e mais externo à plataforma, encontra-se na profundidade de 25 metros na base e 20 metros no topo, em frente ao Pontal do Coruripe, com um comprimento total de 25 km e largura de 500 m. Estas feições foram destacadas no modelo digital elaborado com os dados batimétricos. Uma peculiaridade destes recifes é que se encontram na porção final de paleocanais submersos, alinhados em ambos os lados das suas desembocaduras.

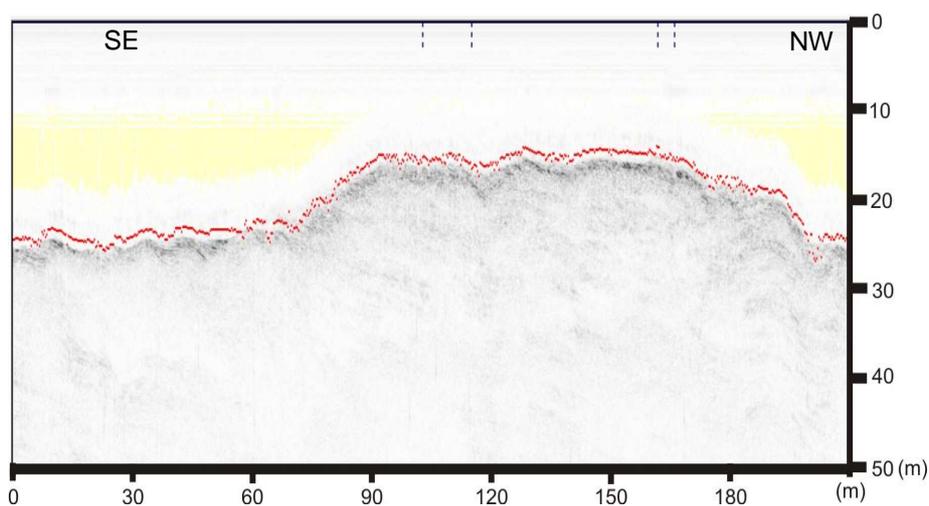
Uma segunda linha de recifes ocorre na plataforma intermediária, na região em frente ao Pontal do Peba ao Pontal do Coruripe (Figuras VI.36, VI.37, VI.38, VI.39), entre a profundidade de 18 e 15 m (na base) e chegando a 5 m (no topo). Estes recifes são descontínuos e paralelos a linha de costa e tem um comprimento em torno de 4 km e largura de 500 m.



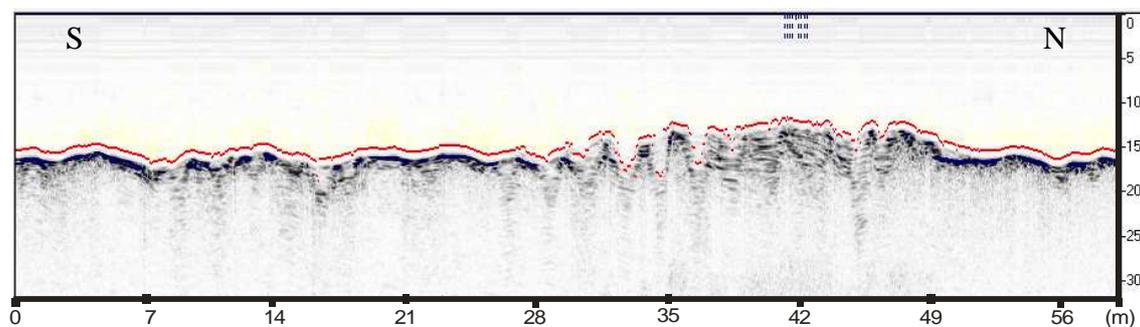
**Figura VI.36.** Perfil batimétrico transversal da plataforma interna em frente ao Pontal do Peba, com destaque para o conjunto de recifes submersos na profundidade 5 a 18 metros.



**Figura VI.37.** Perfil sísmico transversal e mapa de localização do recife submerso na profundidade de 12 a 18 m, em frente ao Pontal do Peba. Os refletores sísmicos mostram a espessura da cobertura sedimentar moderna (até no máximo de 10 m).



**Figura VI.38.** Detalhe do perfil sísmico transversal do recife submerso na profundidade de 15 a 25 m, em frente ao Pontal do Peba, destacando o mergulho das camadas.

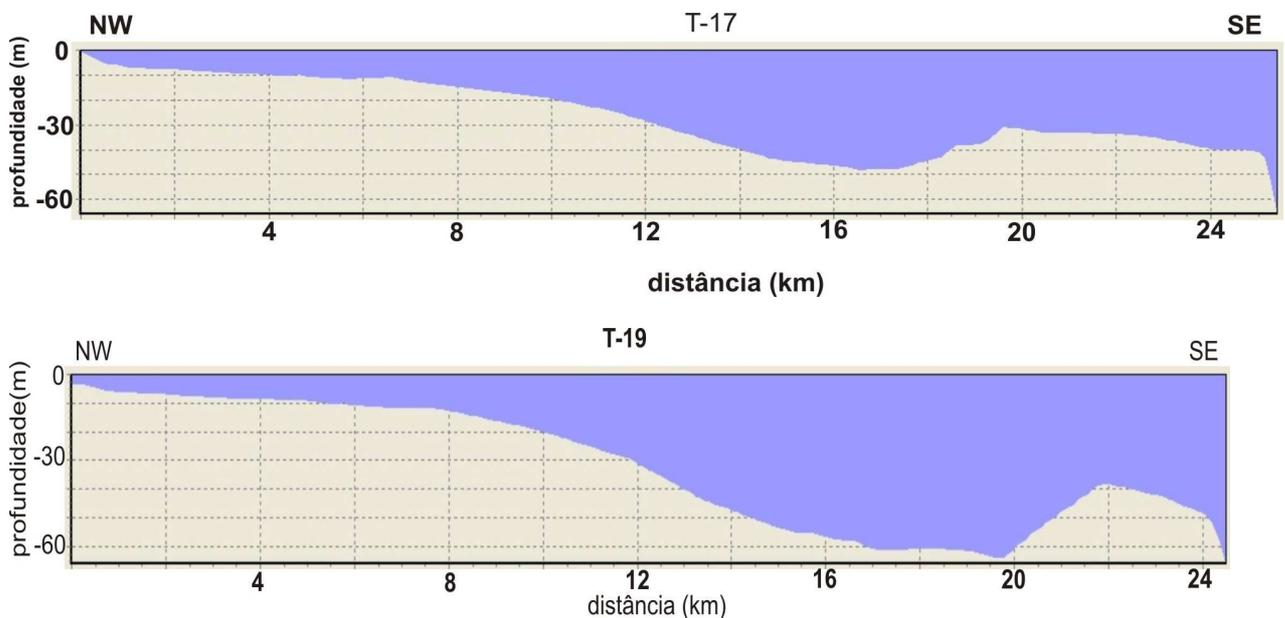


**Figura VI.39.** Perfil sísmico longitudinal do recife submerso na profundidade de 12-17 m, em frente ao Pontal do Peba.

O terceiro alinhamento de recifes ocorre ao longo do sistema praiar, entre o Pontal do Peba e o Pontal do Coruripe, e estão distribuídos desde a profundidade de 10 metros (no Pontal do Coruripe) até o nível do mar atual no Pontal do Peba, ficando em grande parte expostos por ocasião das marés baixas. Na localidade de Pontal do Peba formam uma barreira, atrás da qual se acumulam as areias litorâneas atuais que formam o pontal. Os recifes adjacentes à linha de costa apresentam geometria e tamanhos variados, mas com uma tendência a serem alongados e estreitos. No Pontal do Peba, os recifes são utilizados com local para atracação de barcos pesqueiros.

### **Banco carbonático de borda na plataforma sul de Alagoas**

Um extenso banco carbonático se desenvolve na borda externa da plataforma, com relevo suave e que se amplia no sentido norte. No sentido sul, o banco é mais estreito e encontra-se em contato com as lamas terrígenas depositadas na plataforma. A largura máxima do banco é de 14 km, alcançando 49 km de extensão na área de estudo (Fig. 6.40).



**Figura VI.40.** Perfis batimétricos da plataforma sul de Alagoas. À esquerda, zona lamosa associada à foz do rio São Francisco e à direita, banco carbonático da borda. No contato entre ambos desenvolve-se uma depressão alongada de direção N-S afluente do cânion do rio São Francisco.

## VII. SEDIMENTOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DE SERGIPE E SUL DE ALAGOAS

### VII.1. FACIOLOGIA TEXTURAL DOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS

Para uma visão mais ampla e generalizada foram elaborados mapas sedimentológicos-texturais para as frações granulométricas cascalho, areia e lama. A diversidade das características tipológicas se reflete nos mapas temáticos da distribuição de cascalhos, areia, lama, da textura sedimentar, do teor de carbonato de cálcio e da facilogia da plataforma. As características principais de cada mapa são descritas a seguir.

De uma forma geral, os mapas evidenciam que os sedimentos mais grosseiros (cascalhos, grânulos e areias cascalhosas) estão dispostos predominantemente na porção mais externa da plataforma, a partir da profundidade de 30 m. Na porção interna e intermediária da plataforma predomina a fração granulométrica areia, com exceção das zonas lamosas associadas à foz dos rios. As areias são também dominantes na faixa situada entre 0 e 10 metros de profundidade, que corresponde ao sistema praiar e à plataforma interna. Os sedimentos lamosos terrígenos estão associados à foz dos rios Vaza-Barris, Sergipe, Japarutuba e São Francisco, distribuídos deste a plataforma interna até a plataforma externa.

#### VII.1.1. Distribuição dos teores da fração cascalho

A fração seixos (cascalhos) nitidamente se concentra na plataforma externa, onde predomina sobre as demais classes granulométricas, tanto na plataforma sul de Alagoas, como na plataforma de Sergipe (Figura VII.1), com

percentuais atingindo valores maiores que 90% na plataforma externa, tanto em Sergipe como no sul de Alagoas.

Na região sul de Alagoas os cascalhos dominam a maior parte da plataforma, desde a faixa interna até a borda, com teores variando de 20 a 50%, apresentando uma tendência de disposição em faixas paralelas à linha de costa. Em Sergipe, com exceção da plataforma externa, destaca-se apenas uma pequena área de ocorrência de cascalhos na plataforma média, nas proximidades de Ponta dos Mangues, com teores variando de 20 a 50%.

Observa-se também uma tendência de ocorrência de sedimentos mais grosseiros ao longo de toda a borda da plataforma, sendo constituído, principalmente, de material biogênico (algas calcárias). Esta tendência parece ser uma ocorrência comum, pois já foi observada em várias partes do mundo.

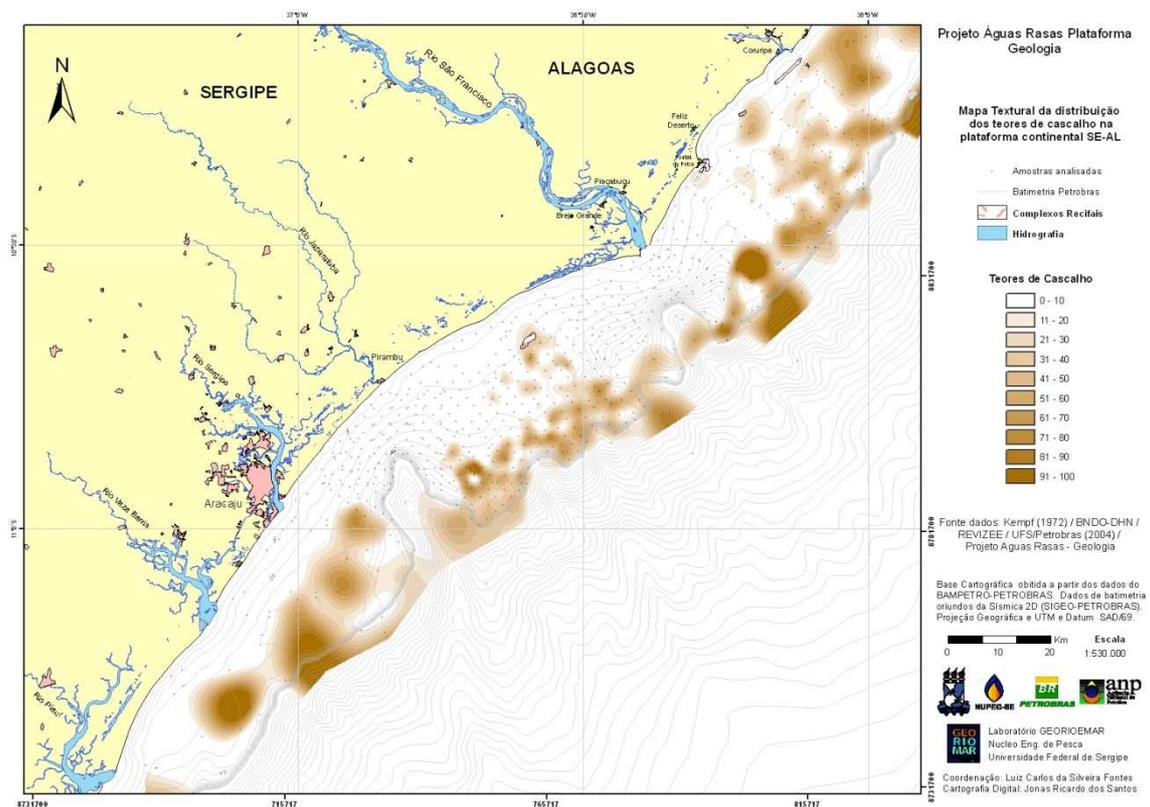


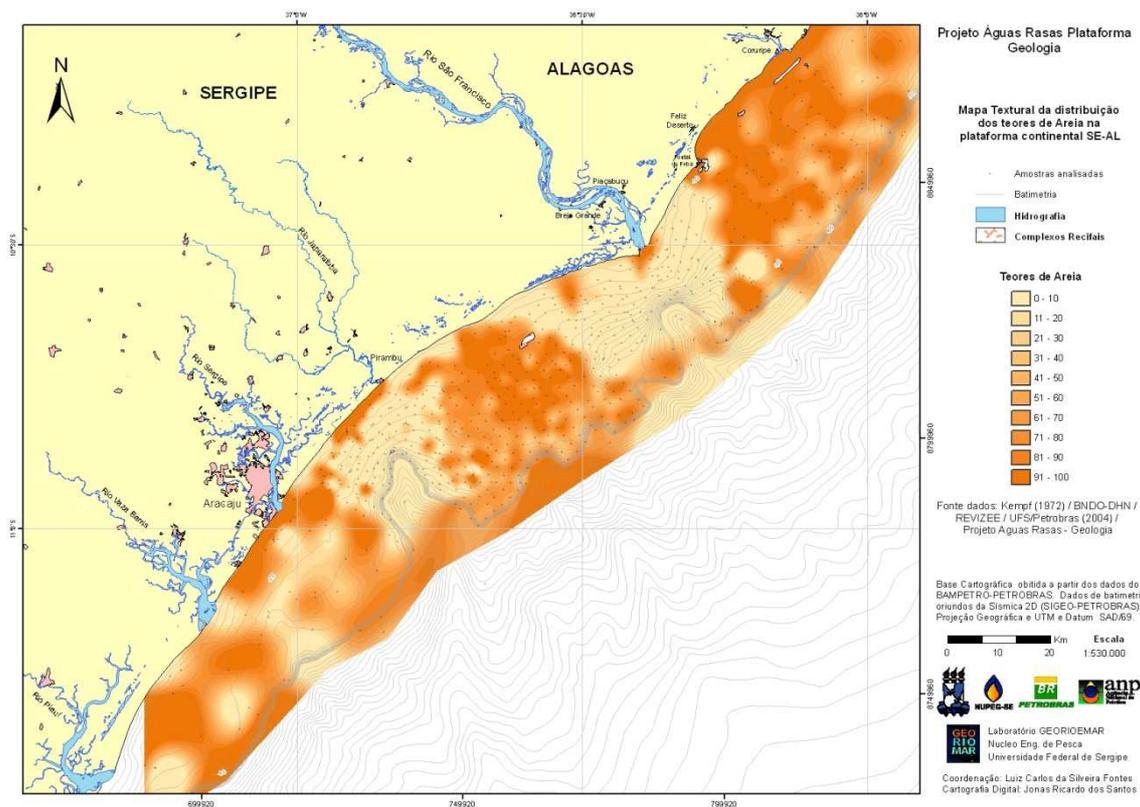
Figura VII.1. Distribuição espacial da fração de cascalho dos sedimentos de fundo.

## VII.1.2. Distribuição dos teores da fração areia

A fração areia está distribuída em toda a plataforma de Sergipe e Alagoas, com exceção da foz e cabeceiras dos cânions São Francisco e Japarutuba, locais com percentual baixo desta fração granulométrica (Figura VII.2).

É possível evidenciar também que esta fração está presente em duas grandes áreas, uma a norte (plataforma sul de Alagoas) e outra à sul (região do Alto de Ponta dos Mangues), separadas pela zona lamosa associada à desembocadura do rio São Francisco. Nestas áreas, as areias dominam amplamente nas porções interna e média da plataforma, com percentuais variando de 30 a > 90%, ocorrendo também na plataforma externa, coincidindo com as regiões de domínio dos cascalhos, onde este percentual varia de 20 a 70%.

Na plataforma sul de Alagoas, entre o Pontal do Peba e o Pontal do Coruipe, nota-se certa tendência ao alinhamento das areias paralelamente à linha de costa. O contrário se verifica no norte de Sergipe, na região do Alto de Ponta dos Mangues, onde a tendência de distribuição é perpendicular à linha de costa. As areias dominam na plataforma interna em uma pequena área em frente à foz do Rio Parapuca e em uma faixa alongada paralela a linha de costa, nas proximidades da foz do Rio Japarutuba.



**Figura VII.2.** Distribuição espacial da fração areia total dos sedimentos de fundo.

### VII.1.3. Distribuição dos teores da fração lama

A plataforma de Sergipe apresenta alta variabilidade na distribuição dos sedimentos lamosos e apresenta um padrão inverso a distribuição do cascalho e da areia. As lamas estão associadas principalmente as zonas de influência dos rios São Francisco e Japarutuba e de maneira menos intensa na foz dos rios Sergipe e Vaza-Barris. Nas zonas deposicionais associada à desembocadura do rio São Francisco e Japarutuba a porcentagem de lama atinge valores, em média, acima de 70% (Figura VII.3).

Ressalte-se a presença de lama em parte dos sedimentos arenosos que dominam o franco sul do alto de Ponta dos Mangues e configuram sedimentos mistos de areia lamosa a lama arenosa, e na borda externa da plataforma sul de Alagoas.





faciológico-textural. Pode-se constatar que a faciologia dos sedimentos de superficiais de fundo é caracterizada por uma nítida simetria em torno das fácies lamosas associada à desembocadura do rio São Francisco, com o desenvolvimento de fácies arenosas e cascalhosas à norte e à sul, com uma concentração de cascalhos na borda da plataforma.

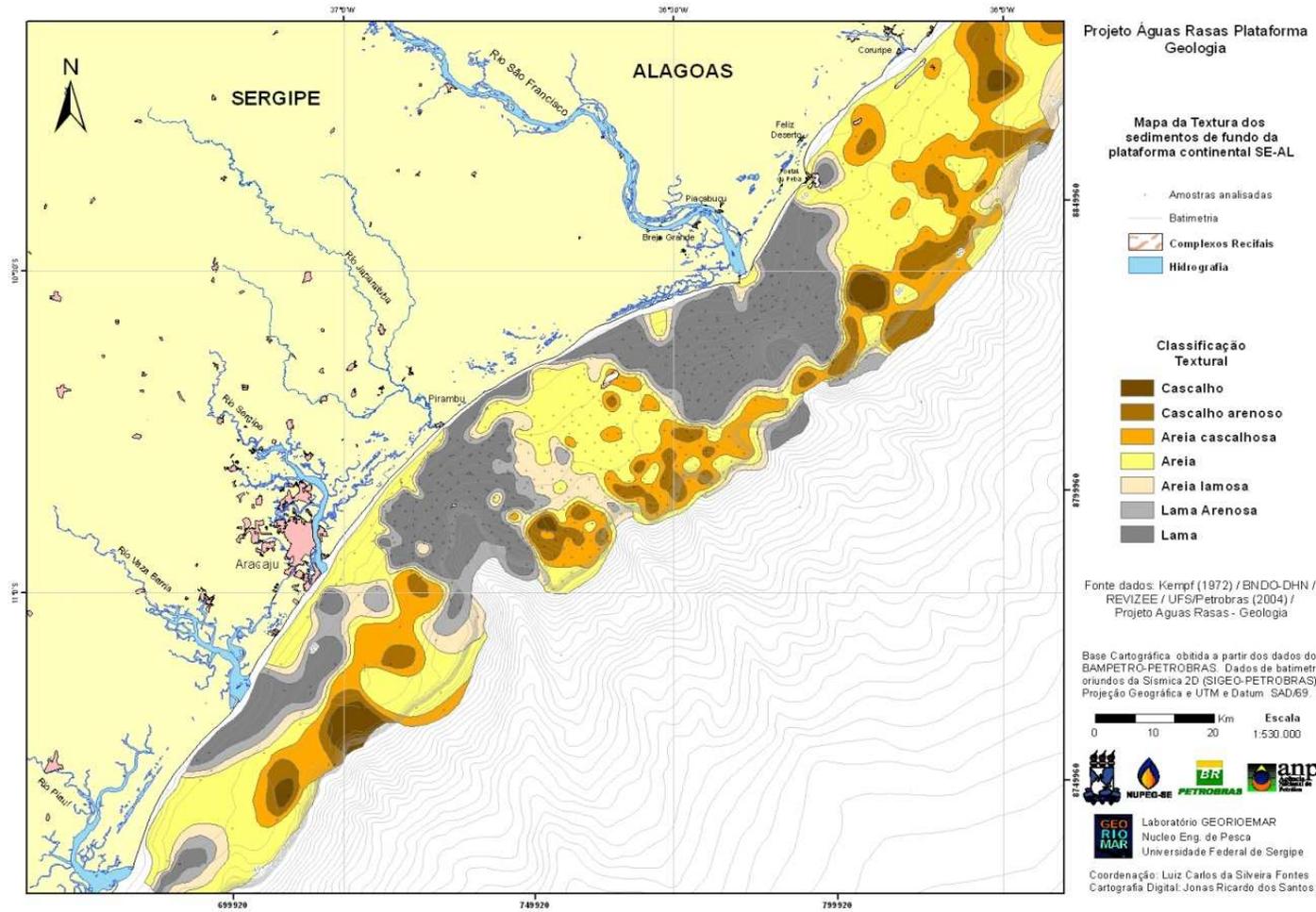
A plataforma sul de Sergipe apresenta uma maior variabilidade na distribuição dos sedimentos. As lamas estão associadas principalmente as zonas de influência dos rios Vaza Barris e Sergipe. As areias não apresentam um padrão nítido de distribuição e os cascalhos ocorrem preferencialmente na plataforma externa.

Observa-se que ao norte do rio São Francisco as areias cascalhosas e os cascalhos são dominantes principalmente na plataforma média e externa. Na plataforma de Alagoas, os sedimentos lamosos são quase inexistentes, sendo limitados a algumas depressões existentes na plataforma, tais como os antigos canais dos rios. As areias siliciclásticas na plataforma de Alagoas ocorrem principalmente na plataforma interna, até 10m profundidade.

As fácies cascalhosas (fácies cascalhos, fácies cascalhos arenosos e fácies areias cascalhosas) dominam toda a borda da plataforma, com exceção das regiões dos cânions, e em uma faixa intermediária da plataforma entre os pontais do Peba e do Coruripe, no sul de Alagoas.

As fácies arenosas (fácies areias e fácies areias lamosas) dominam a plataforma interna e intermediária, tanto na plataforma sul de Alagoas, quanto na região norte de Sergipe (entre as zonas lamosas do São Francisco e Japarutuba).

As fácies lamosas (fácies lamas e fácies lamas arenosas) ocorrem na região da plataforma em frente e adjacente à foz dos rios São Francisco e Japarutuba.



**Figura VII.5.** Mapa da textura dos sedimentos superficiais de fundo da plataforma SEAL.

### VII.3. FACIOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DE SERGIPE E SUL DE ALAGOAS

A plataforma continental da área estudada é constituída fundamentalmente por sedimentos carbonáticos e por sedimentos arenosos e lamosos de composição siliciclástica. As areias siliciclásticas ocorrem em sua porção interna e média; as lamias, de origem fluvial, são encontradas nas desembocaduras dos rios Vaza Barris, Japarutuba e São Francisco. Os sedimentos carbonáticos distribuem-se, principalmente, ao longo da plataforma externa e, em algumas áreas propícias ao desenvolvimento das algas calcárias.

A integração dos resultados das análises sedimentológicas e de carbonatos possibilitou a individualização de fácies sedimentares com base em critérios texturais-composicionais, as quais foram agrupadas em 4 (quatro) associação de fácies ou domínios sedimentares, descrita a seguir e cuja distribuição espacial é apresentada no mapa da Figura VII.6 e no ANEXO 3.

#### **Associação de fácies siliciclásticas ou domínio terrígeno**

Ocorre nas zonas interna e média da plataforma, tanto na plataforma sul de Alagoas (região de Pontal do Peba e Pontal do Coruipé) quanto na plataforma de Sergipe. Na área de estudo foram identificadas diferentes fácies siliciclásticas que são: areias siliciclásticas, cascalhos e de areias com grânulos siliciclásticas, lamias siliciclásticas, lamias arenosas e areias lamosas siliciclásticas.

A fácies de areias siliciclásticas, em geral é de coloração amarela amarronzada e composta predominantemente por quartzo. A fácies de areias siliciclásticas cobre a maior parte da plataforma interna e é dominante na plataforma média no sul de Sergipe, no alto de Ponta dos Mangues e na região do Pontal do Peba. Pode também aparecer em áreas entre os bancos recifais, como exposição de sedimentos relíquias do fundo plataformal.

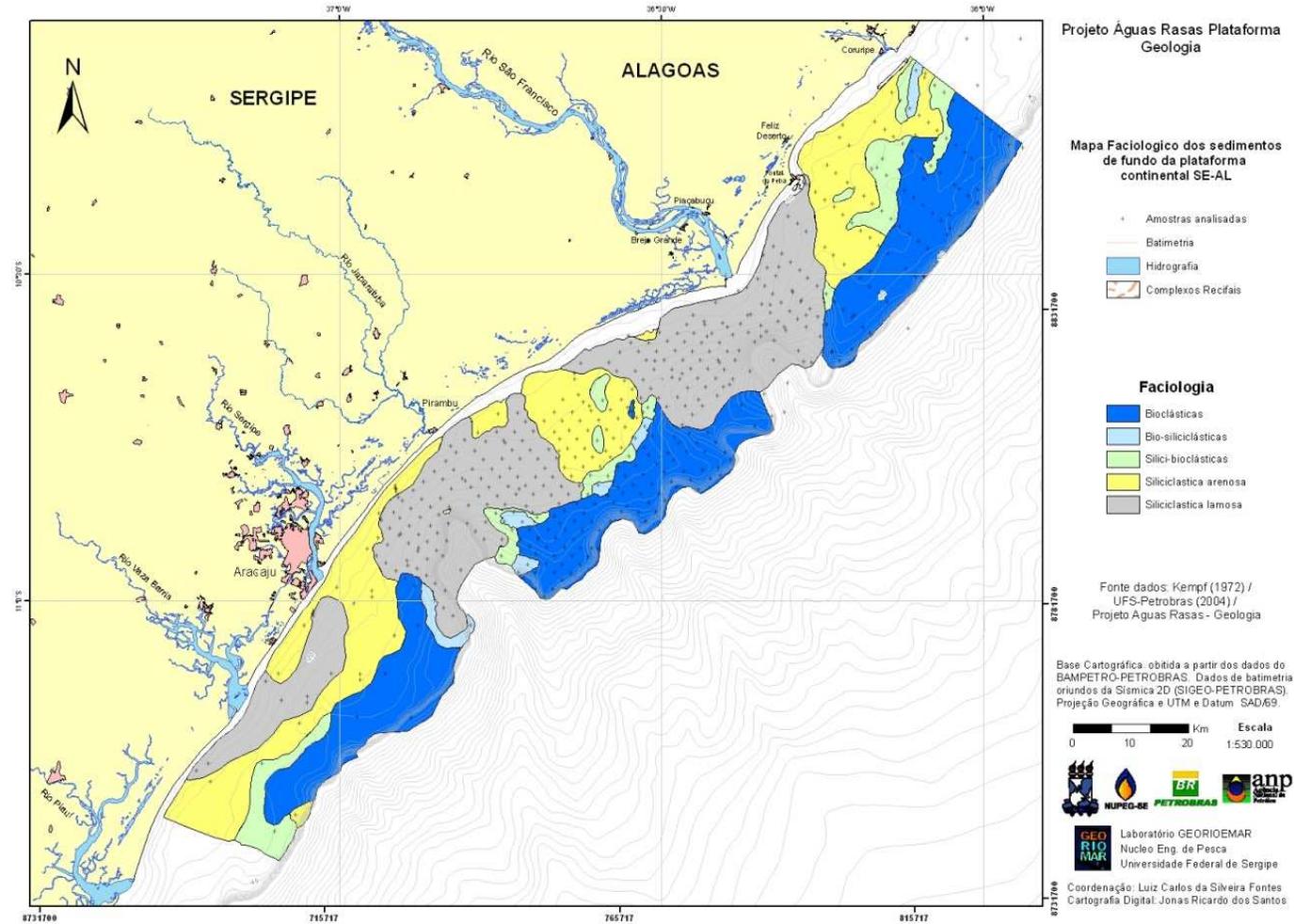


Figura VII.6. Associações de fácies texturais-composicionais (domínios sedimentares) dos sedimentos superficiais de fundo.

As areias siliciclásticas do setor de Pontal do Peba (AL) e do alto de Ponta dos Mangues (SE) contêm grãos de quartzo recobertos por películas de óxido de ferro, indicando sua origem continental ocasião em que esteve exposta às condições subaéreas oxidantes, quando adquiriu este caráter superficial, sendo posteriormente retrabalhadas e redepositadas pelos processos marinhos.

A fácies de cascalhos e de areias com grânulos e cascalhos siliciclásticos, ocorre como núcleo dos recifes submersos, em ambas as regiões plataformais (Sergipe e sul de Alagoas).

A fácies de lamas siliciclásticas domina completamente as zonas plataformais associadas às desembocaduras dos rios São Francisco, Japarutuba e Sergipe-Vaza-Barris. As lamas são de coloração cinza escura a cinza amarronzadas.

A fácies de lamas arenosas e areias lamosas siliciclásticas (terrígenas) é encontrada apenas no flanco sul e na extremidade do alto de Ponta dos Mangues. Existem duas possibilidades para explicar o desenvolvimento desta fácies mista neste local: uma é que esteja existindo uma redistribuição das lamas depositadas na área adjacente à foz do Rio Japarutuba e que estas lamas ao se misturarem com as areias do Alto de Ponta dos Mangues gerem esta fácies mista. A outra é que tenha existido um paleocanal se dirigindo para o talude continental bordejando o Alto de Ponta dos Mangues.

### **Associação de fácies silici-bioclásticas ou domínio misto terrígeno-carbonático**

Ocorre na plataforma média, na interface entre as associações de fácies siliciclásticas e as fácies bioclásticas, ocorrendo também na plataforma interna no sul de Alagoas. Formada por sedimentos mistos, com predomínio de grãos siliciclásticos sobre os carbonáticos e com percentual de 30–50% CaCO<sub>3</sub>. Esta associação de fácies também pode constituir o núcleo de construções recifais

que são recobertas por organismos carbonáticos vivos e fácies bio-siliciclástica. A granulometria das fácies individuais que compõem esta associação varia de areias, areias com grânulos e até cascalhos. O quartzo constitui cerca de 60% da composição destes sedimentos.

### **Associação de fácies bio-siliciclástica ou domínio misto carbonático-terrígeno**

Ocorre em pequenas áreas na plataforma média, predominantemente na granulometria areia. Na plataforma de Sergipe ocorre bordejando a associação de fácies carbonática e na plataforma sul de Alagoas acompanha a associação de fácies silici-bioclástica.

### **Associação de fácies bioclásticas ou domínio carbonático**

O mapa das associações de fácies exibe uma nítida concentração desta associação, geralmente de textura cascalhosa, na plataforma continental externa, tanto em Sergipe quanto no sul de Alagoas (Figura VII.6). Esta associação de fácies é formada por areias, areias cascalhosas, cascalhos arenosos e cascalhos. Os cascalhos são de composição essencialmente biogênica (algas vermelhas, halimedes, grãos carbonáticos, biodetritos, rodolitos).

A mistura inconsolidada de areias e seixos de calcário organógenos, que constituem as fácies de areias bioclásticas com grânulos e cascalhos e de cascalhos bioclásticos, foram anteriormente reconhecidas por Coutinho (1976) como equivalente ao “*maerl*” da Bretanha.

Coutinho (*op. cit.*) e Kempf (1974) destacam que o principal componente são os fragmentos de algas vermelhas acumulados no local e que pertencem a

família Corallinaceae, subfamília Melobesiae, com uma ou mais espécies do gênero *Lithothamnium*, geralmente se apresentando sob a forma de pequenos artículos ramificados ou concreções irregulares (rodolitos) de cor rosa-violeta quando vivas.

As fácies de lamas calcárias ocorre de forma isolada e em duas pequenas áreas, ambas na borda da plataforma, no limite com o talude: na plataforma sul de Alagoas e na plataforma norte de Sergipe. Este contexto de ocorrência, inserido entre os bancos carbonáticos da borda, explica a constituição calcária destas lamas. Coutinho (1976) destaca ainda que na plataforma de Alagoas o material pelítico é quase inexistente, sendo limitado a algumas depressões topográficas na plataforma média ou assoreando alguns canais afogados, formando “manchas” isoladas de material fino. Nesta região, é provável que os paleocanais (vales incisos) existentes na plataforma estejam sendo preenchidos por lamas calcárias.

#### VII.4. DIVERSIDADE DA TIPOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL E DA INTERAÇÃO TERRA-MAR

Os resultados da análise de dados sedimentológicos acoplados a tipologia das bacias de drenagem, a magnitude e a variabilidade temporal e espacial do aporte fluvial, a dispersão de matéria em suspensão através de plumas de turbidez do rio São Francisco demonstraram que a Interface terra-mar possui alta diversidade estrutural e funcional (MABESOONE e TINOCO 1967, FRANÇA, 1979, Kempf 1972, MABESOONE *et al.* 1972, COUTINHO 1976 e 1981, SUMMERHAYES *et al.* 1975, KNOPPERS *et al.* 1999).

A plataforma sul de Alagoas caracteriza-se por rios de pequeno porte, batimetria relativamente suave e margem regular. O delta do rio São Francisco representa a maior fonte fluvial pontual de matéria do continente para a zona

costeira e destaca-se pelo seu cânion profundo. Ao sul encontra-se o sistema do rio Japarutuba com seu cânion, seguida de uma margem plataformal ao sul do Estado de Sergipe mais estreita e regular, caracterizada por rios de pequeno porte (Sergipe, Vaza-Barris e Real-Piauí).

De uma forma geral a plataforma de Sergipe/Alagoas se destaca pela maior ocorrência de cascalhos e areia carbonática no setor externo da plataforma, aportes fluviais e por dois bolsões de lama associados aos cânions São Francisco e Japarutuba (Figura VII.5). Na região entre os cânions São Francisco e Japarutuba evidencia-se uma alta diversidade sedimentar, correspondendo a uma área de transição de areia siliciclásticas na plataforma interna e média, como também, areia e cascalho carbonático biodetrítico ao longo da margem continental de Sergipe (Figura VII.5).

O quadro geral apresentado demonstra que quanto maior a entrada de matéria fluvial maior a presença de sedimentos terrígenos finos e menor o conteúdo de carbonatos nos sedimentos, tal como nas regiões do São Francisco e Japarutuba. Por outro lado, quanto maior a influência da Corrente Sul Equatorial (CSE) e menor o aporte fluvial, como na plataforma de Alagoas e as regiões externas da plataforma ao sul, maior a presença de sedimentos grosseiros carbonáticos (COUTINHO, 1976 e 1981; SUMMERHAYES *et al.*, 1975; MILLIMAN e SUMMERHAYES, 1975; KNOPPERS *et al.*, 1999).

## VII.5. CONTEXTOS MORFO-SEDIMENTARES DA PLATAFORMA CONTINENTAL

A partir das interpretações das feições e da análise faciológica dos sedimentos de fundo foi possível delimitar os diferentes contextos morfo-sedimentares da plataforma continental de Sergipe e sul de Alagoas, considerando dois controles principais, um no sentido transversal e outro no sentido longitudinal a linha de costa. Os contextos são variáveis, tanto no

sentido do afastamento da linha de costa em direção à borda da plataforma (transversal), como ao longo da plataforma, no sentido NE-SW (longitudinal).

Assim, as mudanças morfo-sedimentares permitem reconhecer a existência de um zoneamento transversal da plataforma (interna, média e externa) e, no sentido longitudinal, identificando a existência de cinco províncias morfo-sedimentares: 1) da plataforma sul de Sergipe (SE); 2) lamosa terrígena da foz do rio Japarutuba (SE); 3) terrígena-carbonática do norte de Sergipe (Alto de Ponta dos Mangues (SE); 4) lamosa terrígena da foz do rio São Francisco (SE/AL) e 5) carbonática-terrígena do sul de Alagoas (AL).

As variações laterais dos contextos morfo-sedimentares estão diretamente associadas a influência dos aportes fluviais e ao relevo continentais, tendo o rio São Francisco a principal fonte pontual de matéria para a plataforma continental.

As mudanças longitudinais e transversais interagem entre si, de forma que cada província é formada por associações de fácies ou domínios sedimentares que refletem o aumento de profundidade e o afastamento em relação à linha de costa, além do substrato pré-existente, conforme será exposto a seguir.

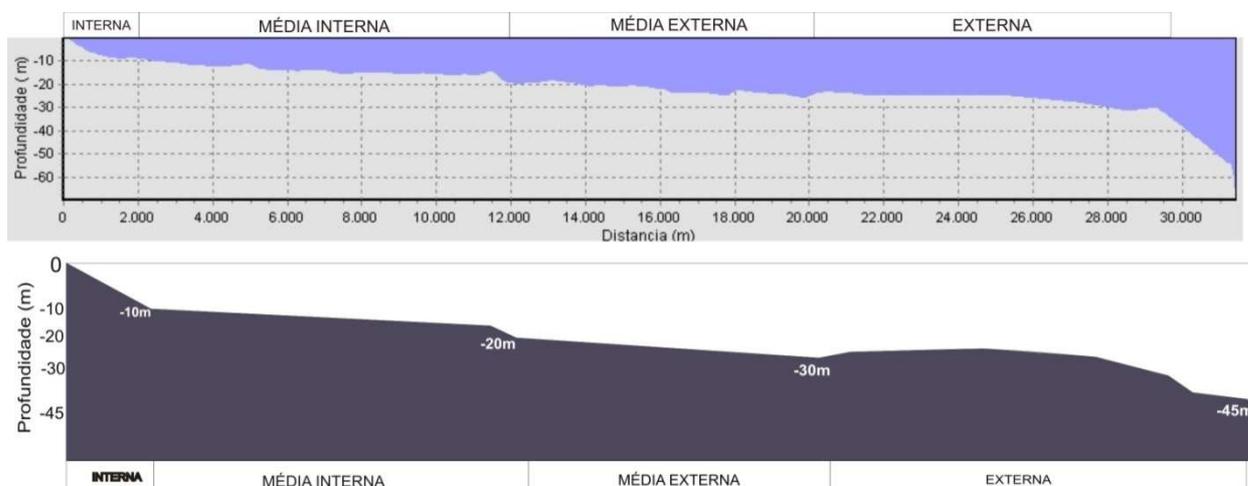
### VII.5.1. Zoneamento transversal da plataforma continental

Coutinho (1976) propõe uma subdivisão transversal da plataforma em interna, média e externa, levando-se em conta critérios sedimentológicos associados às feições morfológicas. Nesta proposição, utilizou como critérios de delimitação do zoneamento geomorfológico, os limites entre os tipos de sedimentos de fundo e as respectivas curvas batimétricas de 20 m e 40 m, onde se observava estas mudanças litológicas, podendo ora se aproximar e ora se afastar da linha de costa.

Nos atuais estudos também foram reconhecidas as zonas da plataforma interna, média e externa. Entretanto, o mapeamento da plataforma com maior

nível de detalhe revelou que este zoneamento geomorfológico só é plenamente aplicável aos contextos terrígenos-carbonáticos da plataforma de Sergipe e sul de Alagoas. Mesmo neste caso, os limites entre as zonas plataformais não obedecem rigidamente às curvas batimétricas de 20 e 40 m. Além disso, o critério utilizado por Coutinho (1976) para estabelecer este zoneamento não é aplicável aos contextos dominados pela maior contribuição de sedimentos terrígenos de origem continental (região de Ponta dos Mangues e zonas lamosas do rio São Francisco e Japaratuba), onde não obedecem aos mesmos limites batimétricos.

Diante disso, optou-se nos atuais estudos pela utilização das mudanças de declividade de fundo, em geral coincidentes com mudanças no tipo de sedimento dominante, como principal critério de diferenciação entre as zonas plataformais (Figura VII.7).



**Figura VII.7.** Perfis Batimétricos com as mudanças na declividade de fundo em perfil batimétrico esquemático representativo das zonas plataformais.

Este critério tem a vantagem de ser mais facilmente aplicável e pode ser estendido a todos os setores da plataforma. Utilizando-se este critério foi verificado que os limites entre as zonas plataformais não são rígidos em

relação à obediência às curvas batimétricas, podendo se modificar de acordo com o setor da plataforma e que podem ser redefinidos para:

- **Plataforma interna:** declividade mais acentuada, se estendendo desde o sistema praial até, em média, 10 m de profundidade. Apresenta variações nos diversos setores da plataforma, podendo ser menos profunda, até 5 m de profundidade, ou estender até a isóbata de 15 metros. As areias siliciclásticas são os sedimentos de fundo predominantes nesta zona plataformal.
- **Plataforma média:** declividade variável e fundo com irregularidades, com o relevo variando de rugoso a suave, e ocupando o intervalo entre as profundidades médias de 10 e 30 metros. Nos setores em frente aos rios São Francisco e Japarutuba, a plataforma média é integralmente formada por lamas terrígenas. Nos setores dominados pelos sedimentos arenosos de natureza mista (terrígena e carbonática) pode ser subdividida em:
  - **Plataforma média-interna:** com fundo rugoso, situada entre as profundidades de 10 a 20 metros. As areias de composição mista silici-carbonática são as predominantes nesta zona plataformal.
  - **Plataforma média-externa:** fundo rugoso, situada entre as profundidades de 20 a 30 metros. As areias de composição mista carbonática-siliciclástica predominam nesta zona plataformal.
- **Plataforma externa:** em forma de banco, com relevo do topo suave, entre 30 e 50m de profundidade (com média de 45m de profundidade). A plataforma externa é caracterizada pelo desenvolvimento do banco carbonático da borda, onde predominam os cascalhos e areias com grânulos de composição bioclástica e, localmente, nos setores mais externos, lamas carbonáticas.

Os limites da plataforma interna, média e externa representam além do aumento de profundidade da lâmina d'água e o afastamento em relação à linha

de costa, também o afastamento em relação aos processos de aporte sedimentar e correntes que dominam o sistema praial. À medida que ocorre o afastamento da costa cessa a interação entre as ondas normais e o fundo marinho, diminuindo o transporte de sedimentos de fundo, o qual só corre nos períodos de tempestades. A borda da plataforma é dominada pelos processos típicos deste contexto de topo do talude continental, com a presença de fenômenos de ressurgência (PAES *et al.*, 2007). A assembléia de seres vivos e a sedimentação respondem a estas mudanças que ocorrem no sentido transversal à plataforma, da zona praial até a borda da plataforma.

O modelo digital de terreno realça o zoneamento da plataforma continental em relação à profundidade, A seguir são descritas as principais características das zonas plataformais.

A **plataforma interna** é caracterizada por uma declividade em torno de 1:200 e pela interação com o sistema praial. Nesta zona interna da plataforma dominam os sedimentos arenosos nas proximidades da linha de costa, mesmo onde se desenvolvem as zonas plataformais lamosas. A barra de desembocadura do rio São Francisco, constituída por areias, desenvolve-se nesta zona plataformal, mas se estende apenas até a profundidade de 6 metros. Os sedimentos de fundo são transportados por fluxos oscilatórios (ondas) e correntes litorâneas induzidas por ondas. Estas correntes têm a direção geral N-S, se dirigindo de NE para SE. Um importante trânsito de sedimentos arenosos ocorre ao longo deste corredor adjacente à linha de costa, acompanhando a deriva litorânea, sendo o principal responsável pela redistribuição, no sentido sul, das areias oriundas do rio São Francisco e do Alto de Ponta dos Mangues para as praias do Estado de Sergipe. De acordo com Coutinho (1976), do rio São Francisco para o sul, a topografia da plataforma interna vai se tornando mais suave, devido ao desaparecimento das irregularidades, graças a uma maior contribuição fluvial. Situação contrária é encontrada na região sul de Alagoas, onde os recifes são irregularidades que

se destacam, constituindo dois alinhamentos no limite com o sistema praiar, um no Pontal do Coruripe e outro no Pontal do Peba.

A **plataforma média** é a de maior largura e o fundo é formado ou por sedimentos lamosos terrígenos ou por sedimentos grosseiros mistos. A presença de alinhamentos de recifes submersos e de bancos de algas calcárias são duas feições típicas positivas da plataforma média. A **plataforma média-interna** possui declividade geral suave em direção ao mar, mas com várias irregularidades no relevo de fundo, situada entre as profundidades de 10-20 metros. As características da plataforma média se modificam em cada contexto morfo-sedimentar da plataforma. No sentido longitudinal NE-SW, percebe-se nítidas diferenças entre o setor sul de Alagoas, com relevo mais rugoso e o norte de Sergipe, onde o relevo é mais suave. Estas diferenciações serão abordadas com maior detalhe quando da discussão sobre as províncias morfo-sedimentares, no item seguinte deste relatório. De forma geral, a plataforma média-interna apresenta uma sedimentação mista, integrando sedimentos terrígenos e carbonáticos. Em águas rasas, próximo ao limite com a plataforma interna, predominam os sedimentos terrígenos. Nas zonas lamosas associadas aos cânions dos rios São Francisco e Japarutuba, a plataforma média tem um relevo suave, com mergulho mais acentuado em direção ao talude (Figura VII.7). A **plataforma média-externa** situa-se em águas mais profundas, próximo ao limite com a plataforma externa, com sedimentos de fundo misto, mas com o predomínio dos carbonatos.

A **plataforma externa** é caracterizada essencialmente por um relevo suave a plano, a partir de 30 m de profundidade. Esta zona plataformar é onde se concentra a sedimentação essencialmente carbonática, sendo constituída por dois extensos bancos carbonáticos formados por sedimentos cascalhosos, um na plataforma sul de Alagoas e outro na plataforma norte de Sergipe, interrompidos pelo cânion São Francisco. Para Coutinho (1976), a falta de relevo mais irregular na plataforma externa pode indicar que atualmente os organismos formadores de recifes (corais e algas) não são construtores ativos nessa zona, por não encontrarem condições favoráveis a seu crescimento.

Coutinho (*op cit.*) lembra ainda que a presença de material grosseiro ao longo da borda da plataforma parece ser um fenômeno geral em várias partes do mundo e que sua deposição ocorreu no Pleistoceno, durante um ou mais estágios de nível de mar baixo. Nas regiões lamosas associadas aos rios São Francisco e Japarutuba não é possível caracterizar a plataforma externa devido à presença dos cânions que recortam a plataforma.

## VII.5.2. Províncias morfo-sedimentares

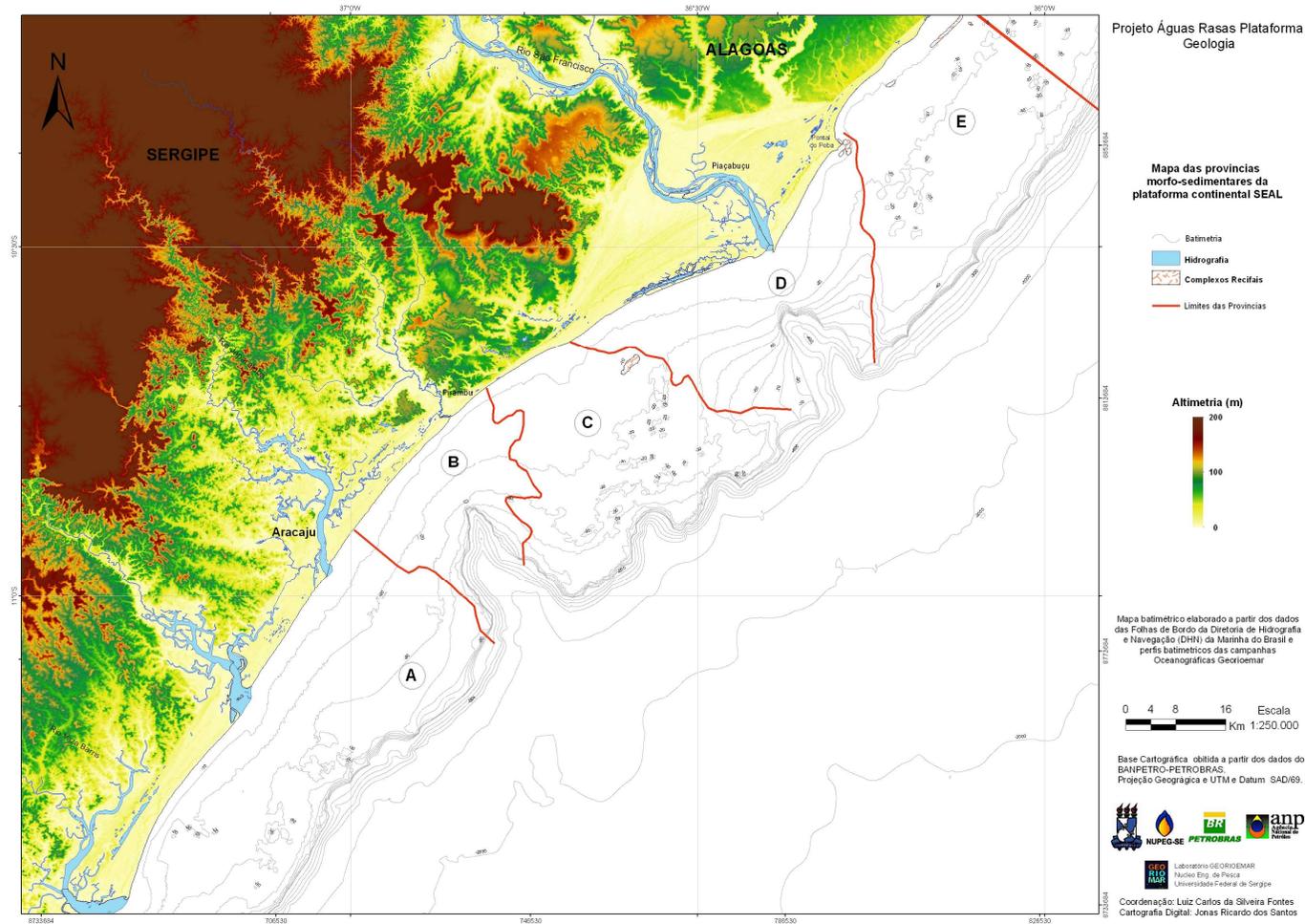
A morfologia e a constituição do fundo submarino conjugados às interações com o continente estabeleceram a existência de contextos geomorfológicos distintos na plataforma continental de Sergipe e sul de Alagoas, os quais se modificam no sentido longitudinal à linha de costa. Nesta diferenciação lateral se destacam os dois contextos únicos na plataforma do nordeste brasileiro, responsáveis por estabelecer uma importante diferenciação geomorfológica regional e local: os contextos de relevo suave desenvolvidos sobre fundos lamosos nas regiões plataformais fronteiriças com a foz dos rios São Francisco e Japarutuba.

A integração das informações sobre a geomorfologia (morfologia de fundo, batimetria e declividade), sedimentologia (textura, composição, biodetritos), teor de carbonato de cálcio e controles da sedimentação, possibilitaram a individualização de 5 (cinco) províncias morfo-sedimentares na plataforma de Sergipe e sul de Alagoas (Figura VII.8):

- Província A – Plataforma sul de Sergipe (SE)
- Província B - Lamosa terrígena da foz do rio Japarutuba (SE)
- Província C – Terrígena-carbonática do norte de Sergipe (Alto de Ponta dos Mangues) (SE)
- Província D - Lamosa terrígena da foz do rio São Francisco (SE/AL)
- Província E - Carbonática-terrígena do sul de Alagoas (AL)

As províncias morfo-sedimentares foram definidas com base em sua posição relativa na plataforma e nas suas características morfológicas e sedimentares. De uma forma geral, observa-se uma simetria entre a plataforma de Sergipe e Alagoas, porém com algumas diferenciações geradas pela maior influência continental ou marinha. Assim, as províncias são constituídas por diversas associações de fácies ou domínios sedimentares, a depender de sua localização geográfica.

Cada uma das províncias morfo-sedimentares é descrita nos itens seguintes, contendo uma síntese das suas características morfológicas, texturais e faciológicas. Os vários parâmetros que serviram de base para a definição das províncias fornecem indicações sobre os processos sedimentares e biológicos envolvidos na formação dos depósitos terrígenos e carbonáticos.



**Figura VII.8.** Províncias morfo-sedimentares da plataforma continental Sergipe-Alagoas.

A plataforma de Sergipe e sul de Alagoas apresenta a peculiaridade de reunir, em um pequeno espaço geográfico, os 3 regimes de sedimentação da margem continental identificados por Martins *et al.* (1972 apud Coutinho, 1976) na margem atlântica da América do Sul: a) plataformas com sedimentação terrígena, proveniente de grandes bacias de drenagem; b) plataformas cobertas por sedimentos biogênicos e biodetritos, resultantes de uma intensa atividade organógena, da qual a plataforma do Nordeste brasileiro é um exemplo típico; e c) plataformas cobertas por sedimentos relíquias, recebendo uma pequena contribuição atual ou sofrendo retrabalhamento. Estes contextos deposicionais podem ser encontrados, respectivamente, nas províncias fisiográficas (a) associadas aos rios São Francisco e Japarutuba, (b) borda externa da plataforma sul de Alagoas e norte de Sergipe e (c) plataforma média do sul de Alagoas e norte de Sergipe.

Apresenta-se a seguir a descrição da tipologia e da sedimentologia, dos cinco domínios:

### ***Província A – Plataforma sul de Sergipe***

Esta província corresponde à plataforma do sul do Estado de Sergipe do trecho entre o rio Sergipe até o rio Piauí. A plataforma se caracteriza por ser regular e estreita com largura em torno de 20 km. Neste, encontram-se os paleocanais dos rios Vaza-Barris e Piauí/Real, com batimetria suaves em comparação aos cânions Japarutuba e São Francisco (França, 1979). Esta província possui rios de pequeno porte, entretanto, estes rios são relevantes, pois podem influenciar a região costeira de Sergipe durante as enxurradas.

Os sedimentos são geralmente mais ricos em areia alcançando teores de 80 a 90 % (Figura VII.2) em algumas áreas da plataforma. Entretanto, na plataforma média, entre os rios Vaza-Barris e Sergipe e em frente ao rio Piauí, verifica-se o predomínio de lama terrígena (60 a 70 %, Figura VII.3). Um bolsão de cascalho com teores de 60 a 70 % ocorre no trecho externo da plataforma. A distribuição

dos carbonatos é heterogênea com teores alcançando 70 a 80 % (Figura VII.4) defronte a cidade de Aracaju nas fácies arenosas e no trecho externo da plataforma associado aos cascalhos.

Recobrando a borda externa da plataforma ocorrem predominantemente sedimentos biodetríticos, que são constituídos de fragmentos de algas calcárias, moluscos, briozoários, corais e certa quantidade de lama.

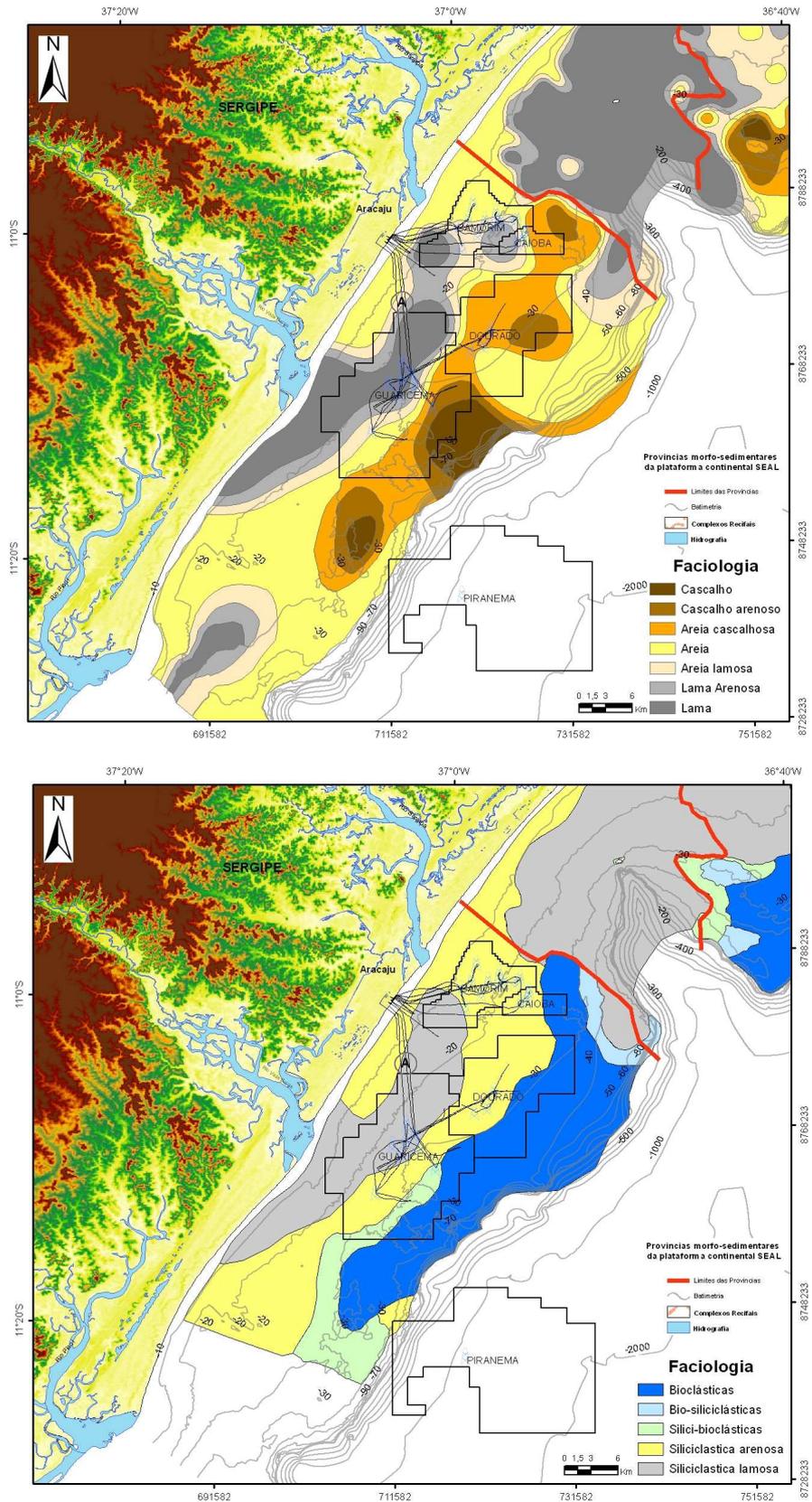
No extremo norte desta província, ocorrem sedimentos carbonáticos na zona externa da plataforma continental, apresentando teores de carbonato superiores a 75%. A textura dos sedimentos de fundo se caracteriza principalmente por cascalhos e areias bioclásticas com grânulo e cascalho. Estes sedimentos são compostos principalmente por biodetritos, rodolitos e grãos carbonáticos.

Nesta província é importante ressaltar a ocorrência de sedimentos arenosos na plataforma interna e média-interna, possivelmente associados a um antigo aporte fluvial.

Os campos de produção petrolífera de Guaricema, Caioba, Comorim, Dourado e Piranema estão localizados na plataforma continental desta província (Figura VII.9). A textura dos sedimentos superficiais nestes campos petrolíferos são:

- Campo de Camorim: areia, areia lamosa, lama arenosa e lama;
- Campo de Dourado: areia, areia lamosa, areia cascalhosa e lama;
- Campo de Guaricema: areia, areia lamosa, areia cascalhosa, lama arenosa e lama;

A faciologia na área destes campos é caracterizada pela presença de um mosaico sedimentar com presença de areias siliciclásticas, presentes na porção interna da plataforma continental; areias e/ou cascalhos de algas recifais de composição carbonática, presentes na borda externa da plataforma; e lama fluvial, presente a nordeste destes campos, nas proximidades do cânion Japarutuba.



**Figura VII.9.** Mapas faciológico-texturais da Plataforma Continental de Sergipe, mostrando os campos de Guaricema, Caioba, Comorim, Dourado e Piranema.

## **Província B - Lamosa terrígena da foz do Rio Japarutuba**

A região plataformal no entorno da atual desembocadura do rio Japarutuba se caracteriza por apresentar um relevo suave, desenvolvido sobre o fundo lamoso de origem terrígena que está associado a uma das feições mais expressivas de toda a plataforma estudada, o Cânion Japarutuba. Este contexto permite associar a deposição dos sedimentos lamosos e o desenvolvimento do cânion com os aportes fluviais do Rio Japarutuba.

Em comparação com a zona de sedimentação lamosa associada ao rio São Francisco, os sedimentos lamosos do Japarutuba apresentaram maiores teores de silte e maior ocorrência de biodetritos (em quantidade de espécimes e tamanho) e teores de carbonato menores que 10%. Outro ponto de destaque é a maior ocorrência da caulinita entre os argilo-minerais, enquanto predomina a illita nas lamas associadas ao São Francisco (Summerhayes *et al.*, *apud* Coutinho, 1976).

## **Província C - Terrígena-carbonática do norte de Sergipe**

A província terrígena-carbonática do norte de Sergipe desenvolve-se a sul da província lamosa do rio São Francisco, na região em frente à foz do rio Parapuca e à região de Ponta dos Mangues (Figura VII.8). O limite sul desta província se faz com a província lamosa do rio Japarutuba. Esta província apresenta três contextos morfo-sedimentares distintos, cada uma delas com predomínio de uma associação de fácies: o entre a foz do rio Parapuca e o limite sul da planície deltaica do rio São Francisco, com o domínio da sedimentação mista; o do alto de Ponta dos Mangues, com o domínio de sedimentos siliclásticos e o contexto da borda da plataforma, com o domínio da sedimentação carbonática.

No contexto em frente à foz do rio Parapuca (flanco norte do Alto de Ponta dos Mangues) dominam as associações de fácies mista silici-bioclástica e a siliciclástica, semelhante ao contexto encontrado na província sul de Alagoas. Na

morfologia desta província se destaca, na plataforma média-interna, o conjunto de recifes submersos da Pedra do Robalo, constituído por bioconstruções carbonáticas que se sobrepõem a arenitos relíquias ( fácies areias siliciclásticas). Estudos realizados no recife da Pedro do Robalo constataram que os organismos vivos desenvolvidos no topo são assembléias de corais zooxanthellate. Este conjunto de recifes tem uma forma côncava que acompanha as isóbatas que delineiam o alto morfológico de Ponta dos Mangues, o que pode estar indicando que este alto se constituía em um antigo pontal. Na plataforma média-externa o relevo de fundo é também rugoso, formado por pequenos bancos ou domos de carbonatos, constituídos de sedimentos mistos compostos por grãos carbonáticos e terrígenos, com menor teor de carbonato em relação à plataforma externa.

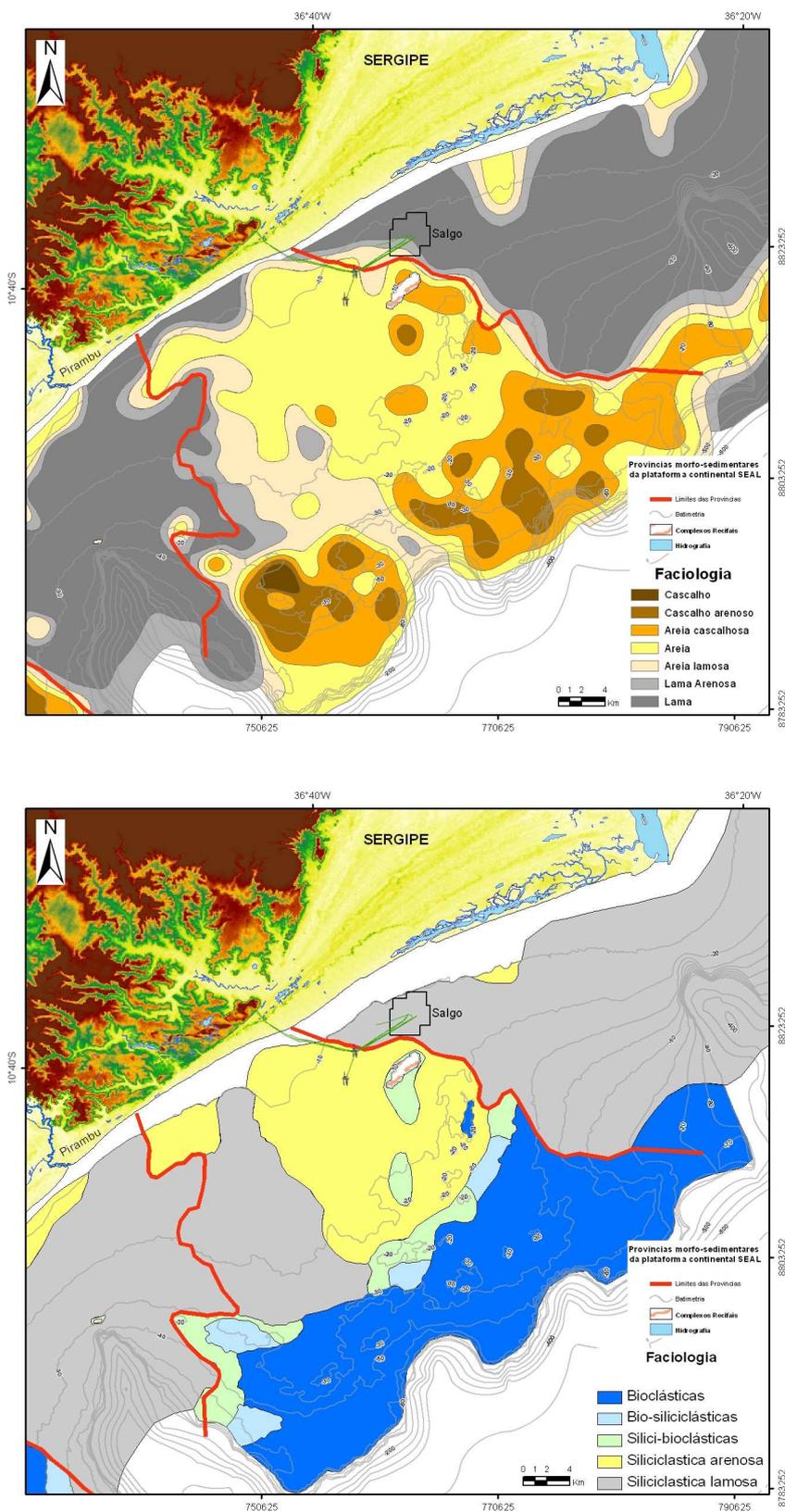
O contexto do alto submarino de Ponta dos Mangues é uma feição morfológica suave que se estende perpendicularmente por mais da metade da plataforma, na direção N-S, desde a linha de costa até o banco carbonático na borda de plataforma. É constituído pela associação de fácies siliciclástica, representada pelas fácies de areias e de areias lamosas, que se distribuem desde a plataforma interna a média. Os grãos de quartzo das amostras coletadas no alto são, em geral, recobertos por películas ferruginosas, indicando tratar-se de relíquias de sedimentos mais antigos, que foram expostos à ação do clima e oxidados e posteriormente cobertos pela água do oceano. A fonte destas areias provavelmente são de idade terciária do Grupo Barreiras, que afloram atualmente ao longo da linha de costa nas proximidades de Ponta dos Mangues, formando tabuleiros costeiros que avançam neste setor até a zona de praia, entre as bacias hidrográficas dos rios São Francisco e Japarutuba. Neste contexto os biodetritos com as maiores ocorrência foram os bivalves, briozoários, foraminíferos e gastrópodes. Foram encontrados alguns agregados de rocha. O flanco sul do alto de Ponta dos Mangues, no limite com a zona lamosa associada à foz do rio Japarutuba, é constituído pela fácies de areias lamosas e lamas arenosas (Figura VII.10).



**Figura VII.10.** Amostras das fácies areias lamosas. Flanco sul do Alto de Ponta dos Mangues.

A borda da plataforma é ocupado por um amplo banco carbonático, que se desenvolve desde a cabeceira do cânion São Francisco até o cânion Japarutuba, apresentando teores de carbonato superiores a 75%. Na borda do Cânion Japarutuba este banco carbonático apresenta um terraço bem desenvolvido na profundidade de 40 m. A textura dos sedimentos de fundo se caracteriza principalmente por cascalhos e areias bioclásticas. Estes sedimentos são compostos principalmente por biodetritos, rodolitos e grãos carbonáticos. Os sedimentos biogênicos nesta província são caracterizados por algas vermelhas e halimedas. Uma feição relevante desta província é o cânion Sapucaia, que possui pequena dimensão e escava apenas a borda da plataforma.

A plataforma de produção de petróleo Salgo está localizada nesta província e os sedimentos no entorno são arenosos siliciclásticos, porém o campo Salgo está localizado na província D..

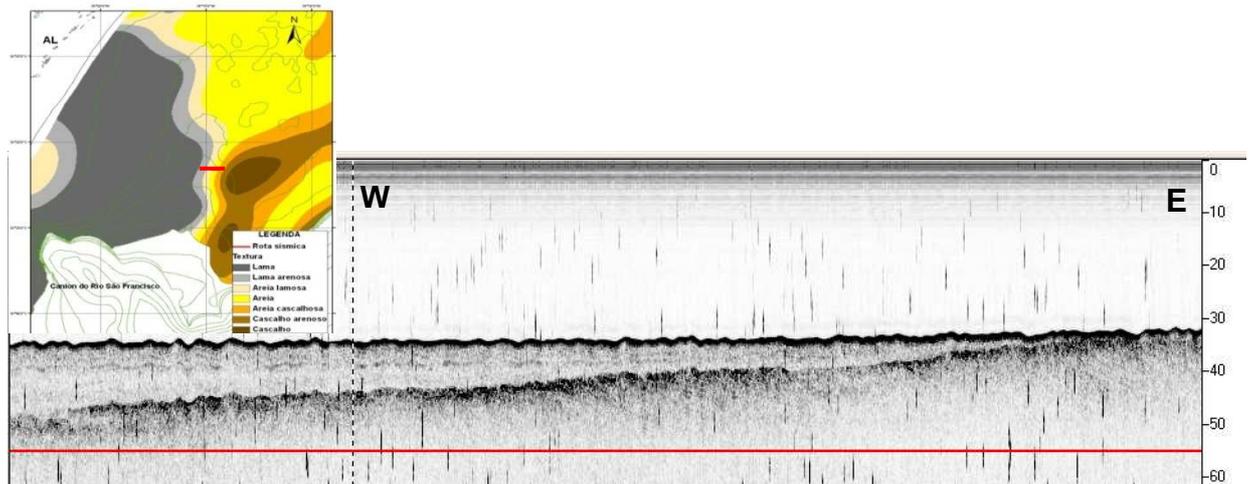


**Figura VII.11.** Mapas faciológico-texturais da Plataforma Continental de Sergipe, mostrando o campo de Salgo.

## ***Província D - Lamosa terrígena da foz do rio São Francisco***

A província lamosa associada à foz do rio São Francisco possui relevo de fundo bastante suave e ocupa a região central da área de estudo. Toda a província é constituída pelos sedimentos lamosos oriundos dos aportes fluviais. No prolongamento da foz atual do rio São Francisco, a partir da borda da plataforma desenvolve-se o cânion submarino. Esta província possui a menor largura da plataforma continental Sergipe-Alagoas, com apenas 10 km, devido à escavação remontante do cânion São Francisco.

O grande aporte de lama de origem continental condiciona a morfologia de fundo. O fundo submarino aumenta gradativamente de profundidade a partir da foz, com as curvas batimétricas dispostas de maneira eqüidistantes. Não foi identificada nenhuma feição morfológica antiga nesta província. O perfil de sísmica rasa mostra que os depósitos lamosos recobrem sucessivamente os carbonatos da borda da plataforma sul de Alagoas e que migram em direção à borda atual, que são, portanto, em parte pré-existentes e em parte resultado da sedimentação atual (Figura VII.12).



**Figura VII.12.** Perfil de sismica rasa no contato entre a Província lamosa do rio São Francisco e a Província da Plataforma sul de Alagoas. O mapa indica a localização do perfil.

A dispersão da pluma de turbidez ocorre geralmente oblíqua à costa em direção SE e se mistura com águas da Corrente Sul Equatorial na margem da plataforma. Atualmente, com a regularização da vazão e retenção de matéria em suspensão nos reservatórios da cascata de barragens construídas no médio-baixo do rio São Francisco a partir da década de 70, a pluma tornou-se pobre em matéria em suspensão e nutrientes e a sua influência espacial mais restrita a costa (MEDEIROS, 2003; KNOPPERS *et al.*, 2006; MEDEIROS *et al.*, 2007 e 2011).

O fundo marinho se caracteriza por ser composto por depósitos de sedimentos terrígenos siliclásticos finos. Os depósitos espalham-se pouco ao norte da foz e, principalmente, ao sul, na plataforma interna e média e perpendicular a foz do rio até a cabeceira do seu cânion. Os sedimentos finos contem menos do que 10 % de carbonato de cálcio. Os limites de transição ao norte e ao sul entre os depósitos lamosos terrígenos e biogênicos é gradual. Ocorre areia siliclástica ao sul do delta e moderadamente calcária contendo entre 25 a 50 % de carbonato de cálcio (siliciobioclástica) na plataforma externa ao sul do cânion bem como ao norte do Pontal do Peba.

## **Província E - Carbonática-terrígena do sul de Alagoas**

Esta província é limitada a sul pela província morfo-sedimentar da foz do rio São Francisco e não possui nenhum rio com expressiva competência de transporte de sedimentos a partir do continente, apesar da presença dos rios Coruripe e Poxim no extremo norte da área de estudo. O contato com os sedimentos terrígenos aportados pelo rio São Francisco fazem com que o limite sul desta província seja mais estreito junto ao litoral e mais amplo na borda da plataforma. Na plataforma interna e média, no setor entre o Pontal do Peba e o Pontal do Coruripe, predominam sedimentos terrígenos e mistos (silici-bioclásticos e bio-siliciclásticos). Todo o conjunto é margeado pelo desenvolvimento de banco carbonático na plataforma externa.

A província carbonática-terrígena sul de Alagoas é constituída por associações de fácies texturais-composicionais (ou domínios sedimentares) que se sucedem (Figura VII.6) da plataforma interna e média (associação siliciclástica, associação silici-bioclástica e associação de fácies bio-siliciclástica) à externa (associação de fácies bioclásticas).

As fácies que compõem a **associação de fácies siliciclásticas** na Província Sul de Alagoas é dominada pelas areias constituídas principalmente por quartzo. Este predomínio se estende de forma alongada no sentido transversal à linha de costa em frente ao Pontal do Peba e, com menor expressão, em frente ao Pontal do Coruripe. Alguns grãos de quartzo apresentam películas de ferro, possivelmente indicando tratar-se, em parte, de sedimentos relíquias que já estiveram expostos à ação do intemperismo químico e, neste caso, seriam remanescentes dos sedimentos do Grupo Barreiras que se prolongam até o litoral sob a forma de paleo-falésias.

As fácies que compõem a **associação de fácies silici-bioclástica** na Província Sul de Alagoas são de granulometria areia e de areias com grânulos e seixos. Em geral constituem o núcleo de recifes submersos e alinhados na direção N-S e NE-SW.

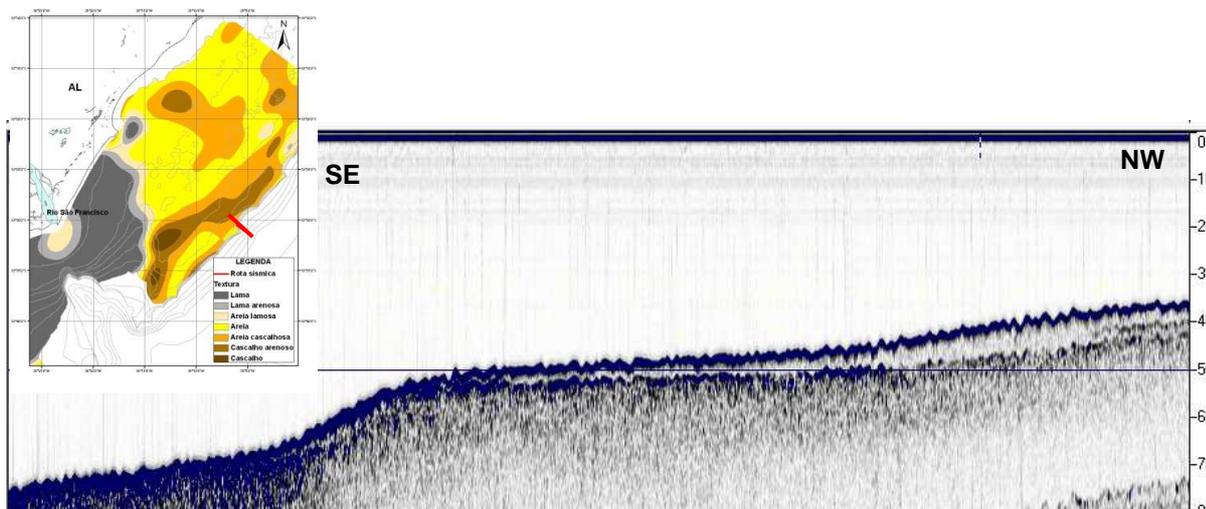
As fácies que compõem a **associação de fácies bio-siliciclástica** na Província Sul de Alagoas tem pequena expressão, de granulometria areia e de areias com grânulos e seixos, sendo encontradas bordejando a associação silici-bioclástica ao longo dos recifes submersos.

As fácies que compõem a **associação de fácies bioclásticas** (domínio carbonático) na Província Sul de Alagoas ocorrem na parte externa da plataforma continental. Os cascalhos carbonáticos ocorrem em maior percentual e área quando comparados com região similar na plataforma norte de Sergipe.

A plataforma sul de Alagoas é caracterizada por um relevo de fundo rugoso, resultante do desenvolvimento das construções carbonáticas, que dominam amplamente na plataforma externa e que se sobrepõem a arenitos litorâneos relíquias na plataforma interna e média. A plataforma intermediária possui um relevo mais irregular e a externa possui um fundo mais suave.

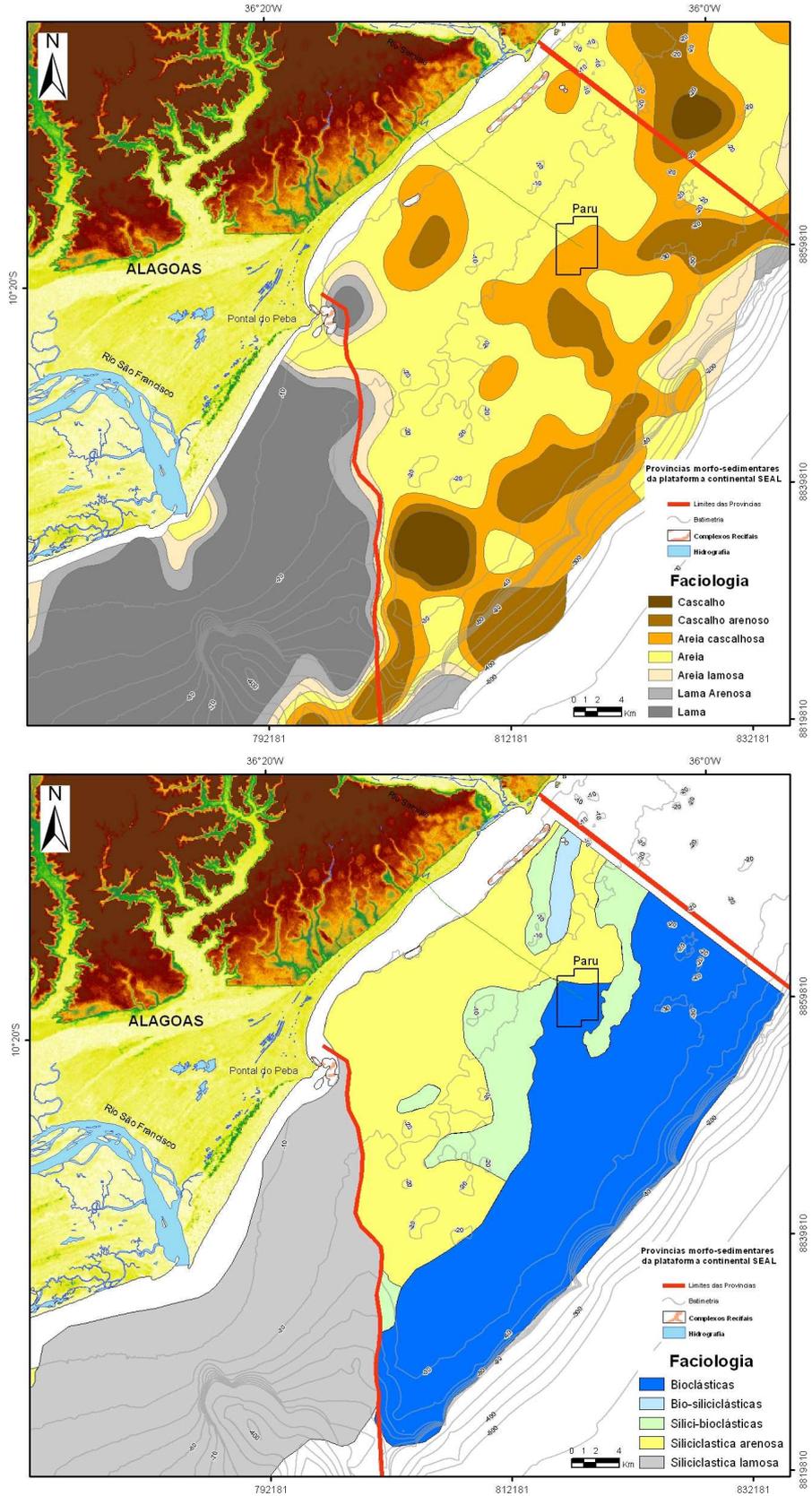
Coutinho (1976) atribui esta configuração rugosa ao fato da plataforma estar exibindo uma topografia erosiva pré-pleistocênica, devido à ausência dos aportes fluviais e à presença de bancos de algas ou corais, crescendo sobre um substrato de arenito de praia consolidado, que se constituiria na principal feição topográfica dessa zona. Entretanto, as datações disponíveis e as correlações de idade com outras regiões da plataforma continental brasileira permitem supor que esta superfície erosiva se desenvolveu durante o Pleistoceno e o Holoceno, nos ciclos transgressivos e regressivos.

O perfil de sísmica rasa na borda da plataforma exhibe a unidade deposicional dos cascalhos e areias cascalhosas com espessura máxima aparente de aproximadamente 8 metros, se sobrepondo às unidades inferiores (Figura VII.13).



**Figura VII.13.** Perfil de sismica rasa na plataforma externa sul de Alagoas. A unidade superior é constituída pela fácies de areias cascalhosas e cascalhos carbonáticos que formam o banco carbonático da borda da plataforma. O mapa indica a localização do perfil.

O campo petrolífero de Paru está localizado nesta província, sendo formado por areia e areia cascalhosa, com sedimentos superficiais classificados como bioclástico e siliciclástico arenoso (Figura VII.14).



**Figura VII.14.** Mapas faciológico-texturais da Plataforma Continental de Sergipe, mostrando o campo de Paru.

A morfologia heterogênea desta província é formada pelas feições positivas: a) recifes emersos na plataforma interna (dois alinhamentos); b) recifes submersos na plataforma média (dois alinhamentos); c) irregularidades de relevo carbonáticas (bancos carbonáticos) na plataforma média; d) banco carbonático suave próximo à quebra da plataforma e pelas feições morfológicas negativas que se estendem da porção intermediária até próximo à quebra da plataforma, representado pelos três sistemas de canais afogados (dos rios Coruripe, Poxim e Jequiá) parcialmente preenchidos por sedimentos (vales incisos).

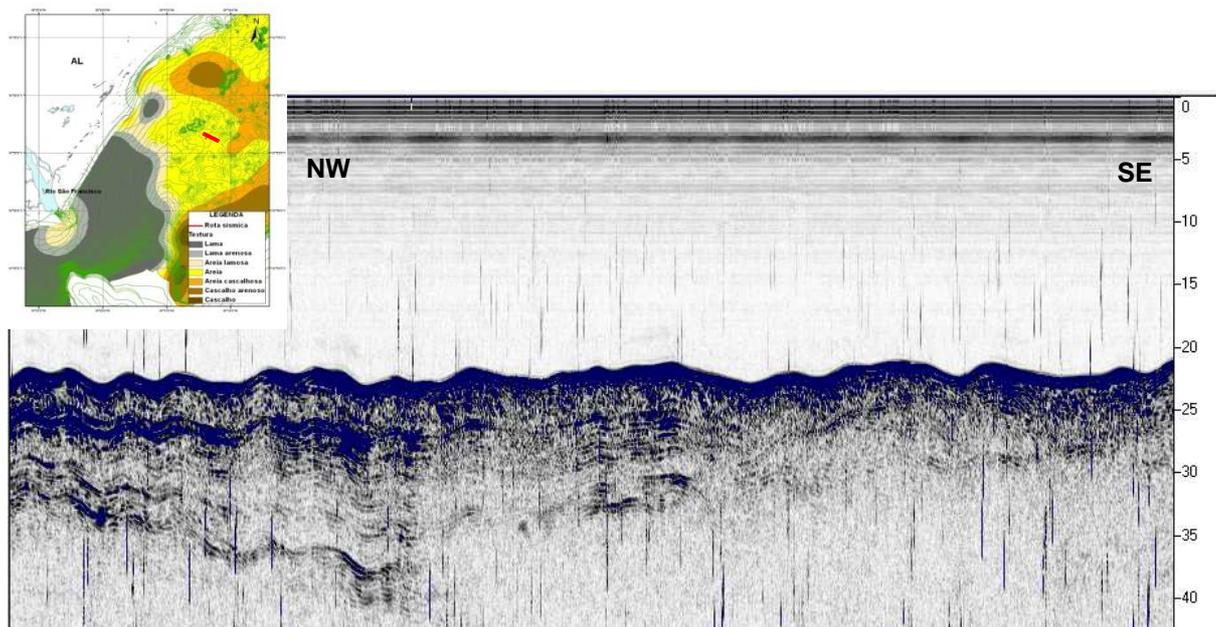
Os recifes terrígenos-carbonáticos alinhados são formados por areias siliciclásticas litificadas (cimentadas por carbonato de cálcio) e, ocasionalmente areias cascalhosas ou cascalhos, com desenvolvimento de organismos carbonáticos sobre este substrato duro que se constitui em um excelente suporte para a fixação de algas calcárias, corais, esponjas e outros bioconstrutores.

O vale inciso associado ao rio Coruripe localiza-se no extremo norte da área de estudo e os dos rios Poxim e Jequiá encontram-se mais a norte (Figura VI.2). Estes rios chegam ao litoral com pequena vazão e baixa carga de sedimentos e, portanto, insuficiente para colmatar os antigos vales fluviais. Os vales principais cortam a plataforma transversalmente, alguns em forma retilínea e outros formam meandros e alguns possuem tributários aproximadamente paralelos à linha de costa. Os vales incisos correspondem a antigas drenagens afogadas e preenchidas total ou parcialmente por sedimentos.

O predomínio da sedimentação carbonática no setor norte da área, onde se aproxima da linha de costa, pode ser atribuído ao fato das drenagens que chegam ao mar serem de pequeno porte e extensão, erodindo principalmente sedimentos do Grupo Barreiras e com pequena carga sedimentar. Este cenário criaria condições mais favoráveis para a precipitação de carbonatos e o desenvolvimento de organismos de constituição carbonática. A baixa taxa de erosão e sedimentação terrígena possibilitou a manutenção dos vales sem serem arrasados durante a transgressão e a regressão marinha holocênica subsequente.

O perfil de sísmica rasa nas areias da plataforma média na região de Pontal de Peba mostra a existência de depressões preenchidas por sedimentos (Figura VII.15).

Esta província se caracteriza pelo menor aporte fluvial da plataforma Sergipe-Alagoas, a maior influência das Águas Tropicais de Superfície (ATS) da Corrente Sul Equatorial (CSE) até a costa e um regime de alta energia de ondas que gera erosão costeira.



**Figura VII.15.** Perfil de sísmica rasa na plataforma intermediária sul de Alagoas.

O aporte fluvial limitado e a proliferação das águas tropicais de superfície (ATS) da CSE sob a plataforma refletem claramente na predominância das feições de carbonatos modernos organogenéticos de sedimentos dominados por cascalho e areia carbonática biogênica de algas calcárias (Coutinho, 1981 e 1995). Segundo Kempf (1972) a distribuição das fácies sedimentares ocorre paralela à costa, com areia quartzosa terrígena, carbonato de cálcio < 20 % e recifes de arenito com algas e corais na faixa de 0 a 10-20 m de profundidade. Em geral, é rara a ocorrência de corais hermatípicos.

Em geral, o setor médio e externo corresponde à maior zona de sedimentação carbonática cobrindo parte dos depósitos relíquias areno-quartzosos da plataforma pré-pleistocênica (Coutinho, 1981). A produção carbonática organogenética atual, de enorme extensão, pelas algas calcárias que resulta na formação de carbonato de cálcio, diminui a supersaturação do mesmo nas águas limitando as condições para a precipitação de carbonato de cálcio não-esquelético. A combinação da temperatura e salinidade elevadas, plataforma rasa e o alcance da zona eufótica até em 50 e 60 m de profundidade na margem, correspondem às condições propícias para o desenvolvimento das algas vermelhas e verdes (Coutinho, 1976 e 1981; Summerhayes *et al*, 1975).

## VIII. INTERAÇÃO CONTINENTE-OCEANO

Uma parcela importante das características geomorfológicas, sedimentológicas e geoquímicas da plataforma continental são resultantes da interação entre o continente e o oceano. Muitas das feições são herdadas da zona costeira continental e outras são desenvolvidas como resultado das interações, ao longo da história geológica da região, entre processos marinhos e costeiros, principalmente aqueles decorrentes dos aportes fluviais e das variações do nível do mar.

Diante disso, os estudos da interação continente-oceano desenvolvidos no âmbito do projeto “Águas Rasas – Geologia” consideraram o processo evolutivo anterior ao contexto atual, remontando ao início do estabelecimento da configuração geomorfológica da zona costeira, a qual, por sua vez, está relacionada às relações entre os sistemas deposicionais continentais, costeiros e marinhos. Uma análise geológica com este enfoque deve considerar a evolução tectono-sedimentar da sequência mais superior da bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas, constituída por sedimentos depositados no Terciário e Quaternário (topo do Grupo Piacabuçu) e sobre os quais estão assentados os sedimentos mais recentes, aflorantes na superfície atual da planície costeira e da plataforma continental. A atual planície costeira de Sergipe-Alagoas e a plataforma continental adjacente representam, em última análise, a continuidade da sedimentação da bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas, na medida em que não há nenhuma descontinuidade marcante no topo da coluna estratigráfica desta bacia, existindo uma continuidade da sedimentação até os dias atuais.

A interface terra-mar da plataforma Sergipe-Alagoas apresenta um cenário específico, uma vez que inclui a bacia de drenagem do rio São Francisco, a maior fonte pontual de água e matéria da região e da plataforma Nordeste, e inúmeras bacias de rios de pequeno porte, cujas influências são, parcialmente, mascaradas pelo rio São Francisco. A região inclui ainda a ampla zona de depósitos lamosos e o cânion submarino desenvolvidos na região em frente ao rio Japaratuba.

Este contexto foi considerado nos estudos sobre a influência dos aportes fluviais na sedimentação e morfologia da plataforma de Sergipe-Alagoas, os quais incluíram as seguintes abordagens: 1) estudo das relações entre as feições morfológico-estruturais emersas e submersas e da evolução tectono-sedimentar da porção superior da bacia Sergipe-Alagoas; 2) estudo das mudanças do nível do mar e do seu registro na região plataformal, com identificação de antigas linhas de praia e vales incisos; 3) estudo da evolução do delta do rio São Francisco, com ênfase nas mudanças das posições da sua desembocadura e proposição de modelo evolutivo paleogeográfico; 4) estudo sobre a origem e evolução do contexto do Japarutuba, que inclui a zona lamosa presente na plataforma e o Cânion submarino e, proposição de modelo evolutivo paleogeográfico e 5) estudo da evolução da sedimentação terrígena recente nas zonas plataformais lamosas sob influência direta dos rios São Francisco e Japarutuba, com obtenção de parâmetros para subsidiar estudos de proveniência dos sedimentos recentes e das variações nas taxas de sedimentação plataformal, incluindo as mudanças ocorridas após as intervenções humanas no sistema fluvial do rio São Francisco.

Os estudos da evolução da sedimentação recente nas zonas de sedimentação lamosa associadas à foz dos rios São Francisco e Japarutuba foram desenvolvidos com base nas amostras verticais (testemunhos rasos e curtos) obtidos na primeira campanha oceanográfica, realizada em outubro de 2008, utilizando a navio Gyre. Estes testemunhos contêm o registro das mudanças ocorridas nos últimos milhares ou centenas de anos, permitindo o desenvolvimento de estudos sobre a evolução recente da sedimentação na plataforma e a correlação com os aportes fluviais.

No contexto atual, o real dimensionamento de eventuais impactos da produção de petróleo em margens continentais só pode ser obtido considerando-se as inter-relações com as contribuições continentais. Este conhecimento deve incluir tanto o contexto natural, sob uma perspectiva geológica e histórica, como a situação atual na qual se faz sentir a intervenção humana.

A acumulação de sedimentos litorâneos de origem fluvial encontra-se confinada ao delta do São Francisco e em algumas poucas reentrâncias no

recorte da linha de costa, com a progradação de sedimentos em direção ao mar. Os aportes fluviais influenciam diretamente na sedimentação de apenas uma parcela da plataforma, mas, é justamente na região da plataforma norte de Sergipe e Sul de Alagoas onde esta interação é mais marcante.

## VIII.1. CONTROLES MORFO-ESTRUTURAIS NA ZONA COSTEIRA

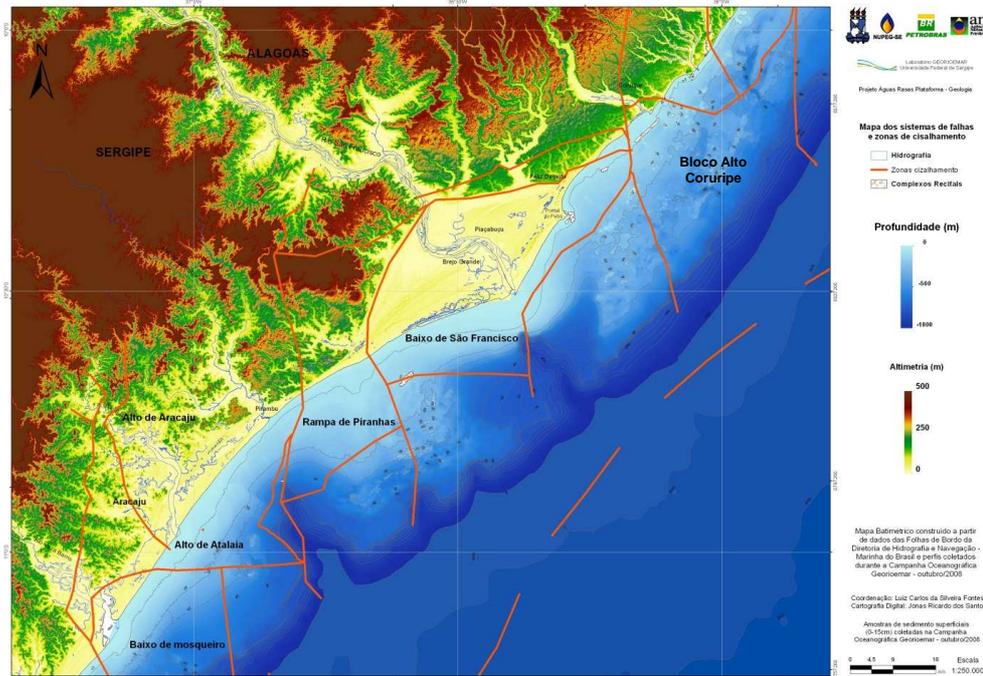
A integração dos dados batimétricos da plataforma continental norte de Sergipe revelou a existência de um alto morfológico no fundo marinho na região de Ponta dos Mangues. Este alto correspondente exatamente à região limítrofe entre a planície deltaica do rio São Francisco e a planície costeira do rio Japarutuba (Figura VIII.1). Esta região topograficamente mais elevada é a única no Estado de Sergipe na qual os sedimentos do Grupo Barreiras chegam até a linha de costa atual, separados da praia atual, apenas por uma estreita faixa de depósitos litorâneos.

O contexto acima sugere que os sedimentos do Grupo Barreiras avançavam no sentido leste, na região hoje ocupada pelo oceano, o que corresponde ao alinhamento NW-SE do Alto submarino de Ponta dos Mangues, e que foram posteriormente parcialmente erodidos durante uma ou mais fases de transgressão marinha.

Este alinhamento morfológico coincide com o alto estrutural de Ponta dos Mangues, identificado nos estudos estruturais da bacia Sergipe-Alagoas. A falha de Ponta dos Mangues delimita a porção sul da planície deltaica do rio São Francisco na região continental e o alto morfológico identificado na plataforma continental, bordejando também o Cânion Sapucaia.

O sítio deposicional correspondente à planície deltaica do rio São Francisco coincide com o bloco baixo estrutural “Baixo São Francisco”, sugerindo um controle tectônico inicial no desenvolvimento da sedimentação deltaica. A planície costeira do São Francisco é limitada a norte, oeste e sul por dois lineamentos de direções NE-SW e ENE-WSW (Figura VIII.1). A parte elevada dos blocos que

limitam a planície costeira é constituída por afloramentos do Grupo Barreiras, enquanto a parte rebaixada é constituída por sedimentos quaternários.



**Figura VIII.1.** Principais feições estruturais da bacia Sergipe-Alagoas lançadas no mapa do modelo digital de terreno e batimetria da região.

A planície deltaica do rio São Francisco também se destaca na zona litorânea como uma anomalia na morfologia costeira, por se constituir em uma reentrância em forma de V. Os afloramentos de sedimentos do Grupo Barreiras marcam os limites interiores da planície deltaica, sob a forma de escarpas alinhadas com vértice no vale do rio São Francisco (em forma de V) (Figura VIII.1).

A reentrância em forma de V também poderia ser atribuída à evolução da erosão fluvial, associada ao rio São Francisco e seus afluentes, mas a coincidência entre os limites da planície e os traços na superfície das falhas detectadas no registro geológico da bacia sedimentar Sergipe-Alagoas, são altamente sugestivos da existência de uma relação de gênese entre eles. Pode-se deduzir que as falésias esculpidas no Grupo Barreiras, são resultado do recuo erosivo destas escarpas de falhas durante eventos de transgressões marinhas.

## VIII.2. INTERAÇÃO RIO JAPARATUBA E PLATAFORMA CONTINENTAL

A plataforma continental de Sergipe se diferencia do restante do nordeste brasileiro por ser cortada por dois grandes cânions submarinos, um no extremo norte, divisa com Alagoas e outro na porção centro-norte de Sergipe. Ambos estão inseridos em amplas zonas de sedimentos lamosos da plataforma continental, que interrompem o predomínio dos sedimentos terrígenos arenosos e carbonáticos, dispostos a norte (plataforma sul de Alagoas) e entre estas duas zonas lamosas (plataforma norte de Sergipe).

O cânion do extremo norte (Cânion São Francisco) está situado diretamente em frente à atual foz do rio São Francisco e suas dimensões são compatíveis com a vinculação a um grande rio, que no seu regime natural apresentava vazões médias elevadas (vazão média histórica de 2.850 m<sup>3</sup>/s) e elevado aporte sedimentar, como resultado da drenagem de uma bacia hidrográfica de 640.000 km<sup>2</sup>. Diante destas compatibilidades, a zona lamosa e o respectivo cânion são facilmente associados ao rio São Francisco.

Por outro lado, o cânion submarino do Japaratuba, localizado na porção centro-norte da plataforma de Sergipe, de maior extensão e profundidade quando comparado ao cânion do São Francisco, encontra-se localizado em frente a um rio de pequeno porte e de expressão apenas local, com pequena vazão e baixo aporte de carga sedimentar, o rio Japaratuba. O ápice do cânion submarino dista apenas 10 km da foz deste rio e o cânion atinge 23 km de comprimento, largura máxima de 11 km na quebra da plataforma e profundidade máxima de 1.400 m. Apesar de associado geograficamente a um rio muito menor, a profundidade deste cânion é 65% (550 m) maior que a do cânion gerado na região plataformal fronteira ao rio São Francisco.

O atual rio Japaratuba possui uma largura de 60 m na sua foz, uma pequena extensão (92 km), uma diminuta bacia de drenagem (1.700 km<sup>2</sup>) e pequena vazão média histórica (11 m<sup>3</sup>/s). É um rio que possui um regime hidrológico caracterizado historicamente por não apresentar grandes variações de vazão e,

portanto, de não produzir cheias. Da mesma forma, a pequena carga sedimentar atualmente transportada pelo rio Japaratuba não seria capaz de gerar a grande zona de sedimentos lamosos superficiais na plataforma e talude continentais.

Diante destas aparentes incompatibilidades com as dimensões do atual sistema fluvial, a origem do cânion submarino e dos depósitos lamosos plataformais do Japaratuba não pode ser associada de forma direta ao atual rio de mesmo nome. Da mesma forma, a existência da extensa zona de lamas terrígenas depositada na plataforma e talude continental adjacente ao Cânion Japaratuba, provenientes de aportes fluviais significativos, implica necessariamente em aportes provenientes de um rio com grande capacidade de transporte de sedimentos, condições incompatíveis com o rio Japaratuba atual. Em contraposição, adjacente a esta região, encontra-se o delta do rio São Francisco, um rio muito maior e com um cânion de menores dimensões.

A aparente discrepância entre a magnitude do sistema fluvial atual rio Japaratuba e as condições necessárias para a geração das feições geradas na área marinha, nunca foram suficientemente explicadas e permanecem até os dias atuais como um desafio para todos aqueles que tentam entender este contexto geológico, o que vem suscitando algumas tentativas de interpretação.

Visando solucionar este enigma geológico local foram investigadas duas hipóteses sobre a possível origem da zona lamosa plataformal e do cânion submarino do Japaratuba no âmbito do projeto de pesquisa “Águas Rasas-Geologia”.

A primeira hipótese, é que estas feições tenham sido formadas pelo rio São Francisco, no estágio inicial de sua interação com o oceano. Esta hipótese foi inicialmente formulada por Coleman e Wright (1972 e 1975), e também defendida por alguns pesquisadores como Bittencourt et al. (1982), porém nenhum deles se dedicou a uma análise mais detalhada da questão e à comprovação da mesma, baseando-se apenas nas evidências geográficas, isto é, no fato de que estas feições se encontram adjacentes a uma grande fonte de aporte continental. Adotando-se esta hipótese, deveria de ter ocorrido uma transposição entre as

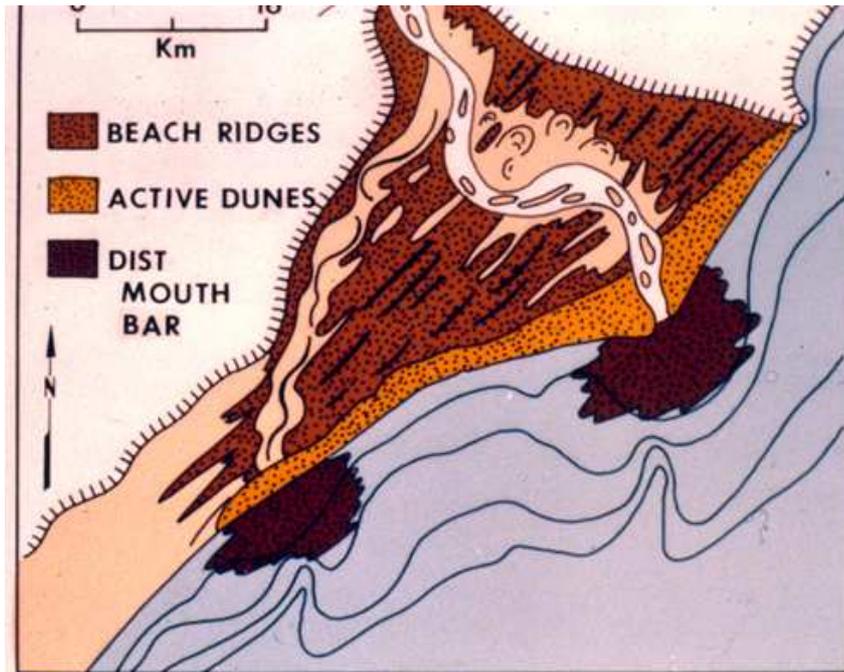
bacias hidrográficas do rio São Francisco e Japarutuba, na região de Ponta dos Mangues, atualmente ocupada pelo oceano (plataforma continental interna).

A segunda hipótese investigada, formulada pela equipe do Laboratório Georioemar da UFS (Projeto Águas Rasas-Geologia, 2011), é que estas feições marinhas tenham sido formadas em decorrência da atuação de um paleo-sistema fluvial do Japarutuba, integrando uma associação de sistemas deposicionais da interface rio-mar (trato de sistemas fluvial-costeiro-plataformal-cânion/talude) e que mais recentemente foi desativada, não mais contribuindo de forma significativa para a sedimentação plataformal.

Nos itens a seguir, estas duas hipóteses serão analisadas e discutidas à luz das novas informações obtidas durante a execução do projeto Águas Rasas-Geologia.

### VIII.2.1. Origem, controles e evolução tectono-sedimentar

A investigação inicialmente concentrou-se na busca de evidências de que o rio São Francisco, em uma etapa inicial da sua instalação na zona costeira (primeira hipótese), tenha dado origem ao Cânion do Japarutuba (Figura VIII.2), como proposto por Coleman e Wright (1972 e 1975).



**Figura VIII.2.** Interpretação para origem do cânion do Japaratuba: antigo canal do rio São Francisco Coleman e Wright (1972 e 1975).

Como já exposto anteriormente neste relatório, existe a possibilidade de que, em sua etapa inicial de interação com o oceano, o canal do rio São Francisco tenha seguido o sentido sul, bordejando o alto morfológico de Ponta dos Mangues, onde se encontravam as falésias desenvolvidas nos sedimentos do Grupo Barreiras. A análise integrada com o arcabouço estrutural da bacia sedimentar Sergipe-Alagoas, revela que esta faixa coincide com um alto estrutural, resultante da reativação da falha de Ponta dos Mangues. Assim, a planície costeira associada ao rio São Francisco se desenvolveu no baixo estrutural do São Francisco, provavelmente como resultado da reativação tectônica, que ocorreu após a deposição do Grupo Barreiras, entre o Terciário e o Quaternário. Neste contexto, supõe-se que o antigo canal do rio São Francisco teria dado origem ao Cânion Sapucaia. Mas seria possível também ter originado o Cânion do Japaratuba? No que diz respeito aos controles morfo-estruturais, as evidências são contrárias a esta hipótese.

O alto morfológico de Ponta dos Mangues, visível no novo mapa batimétrico detalhado da região e no modelo digital de terreno da zona litorânea, se prolonga

desde a zona costeira até as proximidades da borda da plataforma. Este alto morfológico possivelmente seria reflexo de um alto estrutural subjacente e que pode ter sofrido um evento de pequena reativação entre o Terciário e Quaternário, após a deposição do Grupo Barreiras.

No Quaternário, este alto passou a se constituir em um divisor de águas entre as atuais bacias hidrográficas do rio Japarutuba e do rio São Francisco (planície deltaica). Buscou-se o registro de um antigo paleovale fluvial ou paleocânion submarino nos mapas topográficos, batimétricos e geológicos. Não foi encontrada nenhuma evidência de que o rio São Francisco tenha anteriormente ultrapassado o divisor de águas e instalado sua foz na bacia hidrográfica adjacente.

A interpretação dos perfis sísmicos paralelos à linha de costa que cruzam este setor da plataforma continental também não evidenciou nenhuma ligação fluvial pretérita entre a planície costeira do rio São Francisco e a zona lamosa associada à foz do rio Japarutuba, atravessando a feição estruturalmente elevada de Ponta dos Mangues. Os perfis sísmicos mostram uma continuidade de refletores horizontais, sem a presença de vales incisos, pelo menos até a profundidade investigada de 300 metros, intervalo na qual se encontram os sedimentos quaternários.

A inexistência de uma incisão fluvial entre a planície costeira do rio São Francisco e o setor da plataforma onde se encontra o Cânion do Japarutuba conduz à conclusão de que, o rio São Francisco não foi responsável pela formação dos sedimentos da zona lamosa e deste cânion submarino. Diante desta constatação, abandonou-se a hipótese do rio São Francisco ter dado origem à zona lamosa e o cânion situado em frente ao Japarutuba.

A segunda hipótese investigada, isto é, que o sistema fluvial do rio Japarutuba pode ter sido responsável pela geração dos depósitos e feições marinhas, exige que se encontre evidências neste sentido no registro sedimentar, uma vez que o rio atual não teria condições para executar tal trabalho geológico, sendo incapaz de gerar esta ampla zona de sedimentação de finos e a incisão do cânion.

A possibilidade de existência de um paleo sistema fluvial foi investigada a partir da análise dos controles morfo-estruturais, da interpretação de perfis de sísmica rasa de alta resolução ao longo do baixo curso do rio Japaratuba e na região da sua foz, na análise de perfis sísmicos 2D da PETROBRAS executados na plataforma, na análise da geologia e geomorfologia da bacia hidrográfica e do estudo de perfis de furos de sondagens.

As linhas estruturais existentes na região delineadas a partir dos estudos da PETROBRAS sobre o arcabouço estrutural da bacia sedimentar Sergipe-Alagoas, que constam do mapa geológico-estrutural, confirmam que o divisor de águas entre a bacia hidrográfica do Japaratuba e a do São Francisco constitui o alto estrutural de Ponta dos Mangues. Confirmam também, que a posição do cânion submarino do Japaratuba coincide com um plano de falha, um provável indício de controle estrutural na fase inicial de desenvolvimento desta feição geológica.

A coincidência entre o alinhamento da bacia hidrográfica do rio Japaratuba e a zona de falhas geológicas permite supor a existência de um provável controle estrutural na instalação do paleosistema fluvial. Além disso, aventa-se a hipótese de que o desenvolvimento inicial deste sistema fluvial coincidiu com a fase inicial de instalação do rio São Francisco na região costeira, após o mesmo evento tectônico de reativação destas antigas falhas.

O desenvolvimento de um paleo-sistema fluvial importante no pequeno vale do atual rio Japaratuba provavelmente só ocorreu em razão deste condicionamento tectônico. Uma fase importante de produção de sedimentos pode ter ocorrido após a reativação destas antigas falhas e levou a configuração do sistema fluvial do Japaratuba. Além disso, este contexto pode ter sido mais amplo, envolvendo também um paleovale do rio Sergipe. Esta fase pode ter coincido ou ter sido seguida pela instalação de um paleoclima caracterizado por intensas precipitações pluviométricas que encontrou a facilidade de erosão do substrato geológico exposto.

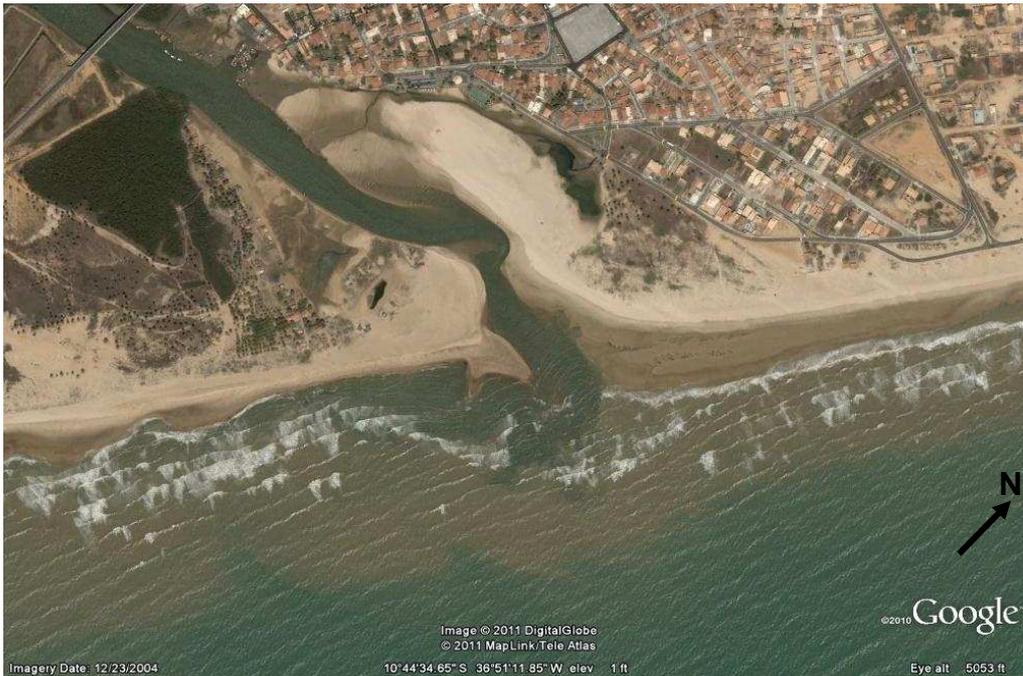
A hipótese de que existiu um paleo-sistema fluvial do Japaratuba e que este mais recentemente foi desativado, não mais contribuindo de forma significativa

para a sedimentação plataformal, vem sendo confirmada a partir de estudos geomorfológicos de afloramentos de arenitos fluviais ao longo do vale do atual rio Japaratuba, dos perfis de sísmica rasa ao longo do rio e das datações por carbono 14 dos sedimentos litorâneos e plataformais.

### VIII.2.2. Sistema deposicional costeiro - desembocadura fluvial

A atual desembocadura do rio Japaratuba está situada na cidade de Pirambu, com uma largura média de 60 metros. O trecho final do rio se constitui em um expressivo estuário, com os efeitos da maré adentrando até alguns quilômetros rio acima e, também, com amplo desenvolvimento de manguezais nas margens do rio.

A dinâmica da atual foz é dominada pelos processos costeiros e marinhos. Nota-se que a ação das ondas e marés se impõe em relação ao fluxo fluvial. O rio atual aporta pouca quantidade de sedimentos e não constrói nenhum depósito sedimentar relevante na desembocadura. A imagem de satélite (Figura VIII.3) mostra que a barra de desembocadura do rio Japaratuba é pouco expressiva e que o prolongamento subaquoso do fluxo fluvial se inclina para sul, seguindo o sentido de fluxo da corrente litorânea.



**Figura VIII.3.** Imagem de satélite da região da foz do rio Japarutuba. O sentido da deriva litorânea é da direita (norte) para esquerda (sul). Fonte: Google Earth.

Ocasionalmente a ação das ondas e da deriva litorânea retira a areia de praia atual expondo em ambas as margens da foz do rio Japarutuba, areias e conglomerados litificados mais antigos que ocorrem subjacentes. A datação por carbono 14 de uma amostra de concha incrustada na areia grossa forneceu idade de 5.730 anos B.P. Esta idade corresponde na curva de variação do nível do mar de Salvador (MARTIN *et al.*, 1986 e 2003) ao máximo transgressivo alcançado no Holoceno. Em comparação com a situação na planície costeira do rio São Francisco, verifica-se que nesta idade, a linha de costa já se encontrava vários quilômetros continente adentro, atestado pela datação idêntica (5.700 anos BP), obtida em sedimentos lagunares próximo às paleofalésias do Grupo Barreiras.

Os perfis sísmicos executados neste local, situado no segmento final do rio Japarutuba mostram a existência de três (3) refletores, sendo dois (2) mais evidentes e com relevo fortemente ondulado, com desenvolvimento de calhas e profundidades variando de 10 m a 70 m. O primeiro e mais profundo destes refletores corresponde a uma paleo-superfície erosiva mais velha, que pode se

constituir na base de um expressivo edifício sedimentar mais antigo, formado por sedimentos grosseiros fluviais e/ou de um leque deltaico.

As evidencias geomorfológicas – textura e disposição dos corpos sedimentares – reforçam a hipótese de uma evolução polifásica neste contexto de interação entre o sistema fluvial do Japarutuba e a zona costeira.

### **VIII.2.3. Sedimentologia da porção superficial da plataforma continental**

A cobertura de sedimentos finos (lamosos) atuais na plataforma continental foi estudada sob duas perspectivas. Em superfície, com o objetivo de ampliar o conhecimento sobre a distribuição dos sedimentos de fundo atuais, através de análises com granulômetro a laser; e em subsuperfície, através do estudo de perfis de sísmica 2D e de análises de testemunhos rasos/curtos com o objetivo de obter informações sobre a evolução das fases mais recentes de sedimentação. Nos itens a seguir são discutidos os resultados obtidos.

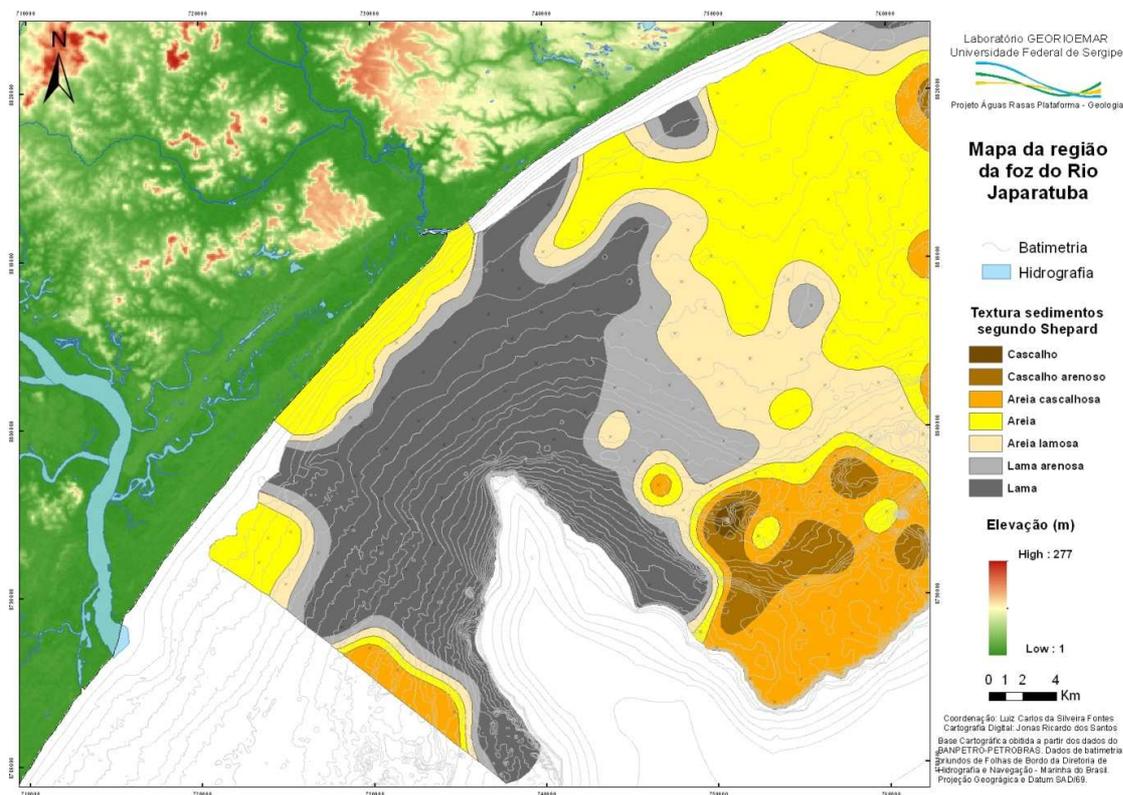
A distribuição granulométrica das amostras de sedimentos superficiais que formam a zona de deposição lamosa na plataforma adjacente à foz do rio Japarutuba foi objeto de uma análise mais detalhada, visando evidenciar variações texturais que pudessem vir a ser correlacionadas com as fontes fluviais de sedimentos ou, com uma redistribuição por processos marinhos plataformais. As análises foram realizadas por granulômetro a laser o que permitiu o detalhamento da distribuição das classes granulométricas de areia até argila.

Os mapas de distribuição individual de cada fração granulométrica (areia, silte e argila) possibilitou a identificação da classe textural dominante em cada amostra, de acordo com a classificação de Shepard (1954), resultando no mapa de distribuição de fácies texturais (Fig. VIII.4).

O mapa das fácies texturais que ocorrem adjacentes à foz do rio Japarutuba mostra que na plataforma interna dominam as areias terrígenas até a

profundidade de 10 metros, provavelmente aportadas pelo sistema fluvial. A extensa faixa arenosa se estende para sul do local ocupado atualmente pela foz do rio Japaratuba, indicando que provavelmente a foz do rio Japaratuba já ocupou outras posições na linha de costa.

Observa-se, a partir da distribuição granulométrica, que o principal aporte de sedimentos teve sua origem nas proximidades da atual foz do rio Japaratuba, mas que ocorreu uma migração de norte para sul. É possível também que tenha existido uma integração anterior com rio Sergipe, na qual ambos teriam contribuído para o desenvolvimento do Cânion submarino. Também ocorreram contribuições secundárias de um pequeno rio originado do alto de Ponta dos Mangues.



**Figura VIII.4.** Mapa faciológico-textural dos sedimentos de fundo na região da foz do rio Japaratuba.

## VIII.2.4. Evolução sedimentar da porção superior da zona lamosa

Através do estudo dos testemunhos rasos coletadas na zona lamosa foi possível analisar o estágio mais recente de evolução desta região plataformal. Os testemunhos utilizados no presente estudo são curtos, com em média 30 cm de comprimento e foram fatiados para subamostragem a cada 1 ou 2 cm.

As datações por carbono 14 dos restos de conchas encontrados na base destes testemunhos revelou que os sedimentos são de idade mais antiga que aqueles encontrados na zona lamosa associada ao rio São Francisco. As datações das amostras situadas a norte do cânion forneceram idades entre 1.210 e 2.190 anos B.P., demonstrando que a taxa sedimentação recente foi pouco expressiva, Uma amostra coletada a sul do cânion forneceu idade de 890 B.P., o que é compatível com o modelo evolutivo proposto, que supõe que a foz do rio Japarutuba esteve no último milênio em uma nova posição mais a sul.

Estas idades se por um lado confirmam que a sedimentação esteve ativa até recentemente, por outro lado demonstra uma desativação do sistema de aporte de sedimentos, diminuindo drasticamente a taxa de sedimentação nos dois últimos milênios. O rio Japarutuba se tornou inoperante para influenciar na sedimentação da plataforma. Quando e como isso ocorreu ainda não está devidamente esclarecido.

Também é relevante destacar que nesta ocasião a foz do rio São Francisco já se encontrava posicionada dezenas de quilômetros a norte, nas proximidades de sua foz atual, não podendo, portanto, ter contribuído para a formação destes depósitos lamosos.

A sedimentação superficial ainda existente nesta zona lamosa é resultado da remobilização atual dos sedimentos anteriormente depositados. A datação da amostra coletadas no flanco sul do alto de Ponta dos Mangues forneceu idade muito recente (110,7 PMC), aos 20 cm de profundidade, o que pode ser atribuído à remobilização ou ao fornecimento de sedimentos pelo pequeno rio existente nesta região.

## VIII.2.5. Síntese da evolução tectono-sedimentar no contexto deposicional do rio Japarutuba

As análises conduzidas no projeto Águas Rasas-Geologia permitiram concluir que a associação de sistemas deposicionais que se desenvolveu na região do rio Japarutuba não foi estabelecido pelo rio São Francisco. Entretanto, apesar de independentes, devem em parte, ter uma história evolutiva comum no pleistoceno e início do Holoceno. Possivelmente, as mesmas reativações de falhas, afetaram o estabelecimento (ou mesmo, o rejuvenescimento) dos canais fluviais do São Francisco e Japarutuba. A formação de altos e baixos morfológicos acompanhando as áreas altas e baixas estruturais condicionou o desenvolvimento da sedimentação nas regiões costeiras do São Francisco e Japarutuba.

Uma diferença marcante entre os dois conjuntos de sistemas é quanto à continuidade da sedimentação. Enquanto no rio São Francisco a história evolutiva com um aporte fluvial significativo segue até os dias atuais, as datações das lamias plataformais demonstram que o aporte de sedimentos praticamente cessou no setor do rio Japarutuba. Como explicar este fato? Uma possível explicação pode ser encontrada na hidrologia fluvial e permite aventar uma hipótese evolutiva. O rio Japarutuba se desenvolveu, por erosão remontante, apenas dentro do território de Sergipe, sendo alimentado por chuvas da zona costeira e do semi-árido e pela disponibilização de sedimentos do substrato geológico exposto por ocasião das reativações. Quando cessou a influência deste episódio tectônico e climático, faltou a necessária vazão fluvial para dar prosseguimento a este trabalho geológico, uma vez que uma boa parte da parte superior da bacia hidrográfica está situada em clima semi-árido. Enquanto isso, o rio São Francisco teve o diferencial de ter capturado o rio proveniente das nascentes em Minas Gerais e que descia para o interior do continente. Neste caso, a sua vazão passou a ser alimentada pelas águas provenientes das regiões montanhosas e de alta precipitação pluviométrica de Minas Gerais, mantendo o sistema fluvial atuante até os dias atuais.

Após a desativação do paleo-sistema fluvial Japarutuba, coincidindo com o alinhamento da linha de costa, à medida que a progradação da planície deltaica associada ao rio São Francisco avançou até próximo da linha de costa atual, ocorreu um forte trânsito norte-sul de sedimentos arenosos que foram formando cordões litorâneos. Estes cordões foram paulatinamente criando uma barreira que isolou uma pequena laguna, na qual o então já fraco rio Japarutuba passou a ocupar, tornando-se um afluente do rio Sergipe. Só nas últimas centenas de anos, o rio Japarutuba retomou seu caminho direto para o mar, formando a atual foz na região da cidade de Pirambu.

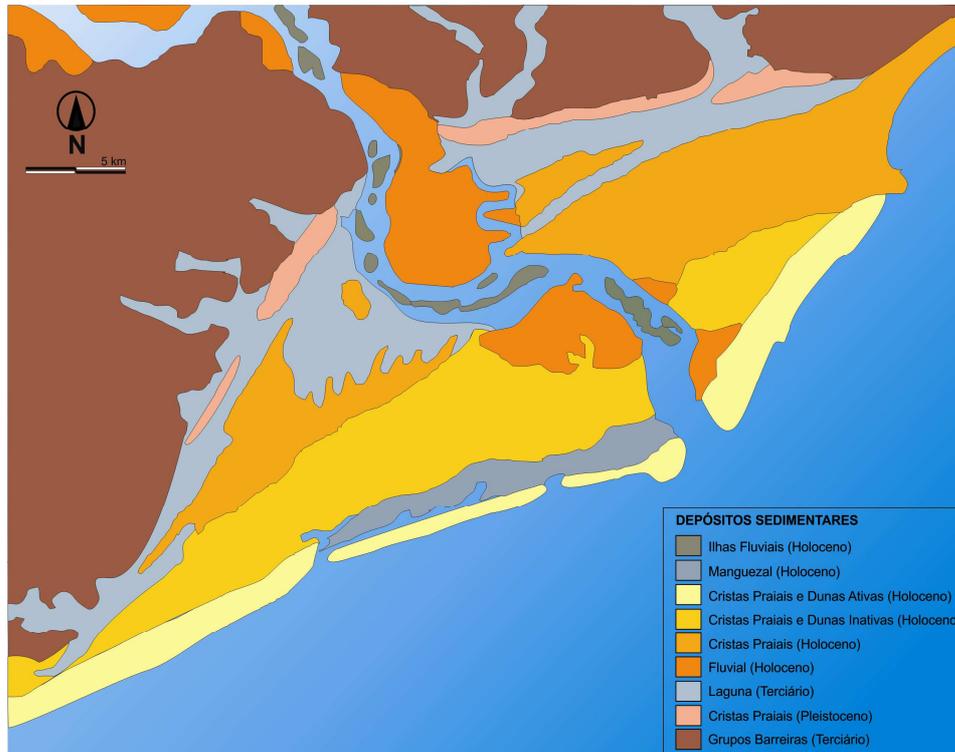
Desta forma, a zona lamosa plataformal paulatinamente deixou de receber aporte de sedimentos provenientes do rio Japarutuba, em torno de 2.000 anos B.P. e, desde então, vem sendo submetida à atuação dos processos marinhos, se constituindo atualmente, em um depósito relíquia na plataforma. Os processos de ressuspensão, erosão e deposição ocorrem em função destes processos marinhos e não existe mais conexão entre o cânion submarino e a fonte fluvial continental.

### VIII.3. INTERAÇÃO RIO SÃO FRANCISCO – PLATAFORMA CONTINENTAL

O Rio São Francisco é um dos principais rios brasileiros, com uma bacia de drenagem de 640.000 km<sup>2</sup>, ocupando aproximadamente 8% do território nacional. Ao longo de seus 2.700 km de extensão, este rio atravessa 5 (cinco) estados da federação (Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe) e 4 (quatro) regiões fisiográficas (alto, médio, submédio e baixo). É considerado um rio de importância continental, pelas dimensões da sua bacia de drenagem e pelo papel que exerce na margem leste do Atlântico Sul.

A planície quaternária litorânea associada à foz do rio São Francisco (planície deltaica) tem uma área total de 800 km<sup>2</sup> e abrange áreas dos estados de Sergipe e Alagoas. Os depósitos sedimentares da planície, de idades Pleistocênica e

Holocênica, são constituídos por terraços marinhos e fluviais, depósitos de lagunas, pântanos de água doce, mangues e campos de dunas eólicas (Figura VIII.5).



**Figura VIII.5.** Mapa geomorfológico simplificado da planície costeira rio São Francisco, Fonte: modificado de Bittencourt et al (1982).

A interação entre os forçantes fluviais e marinhos resultou na construção deste sistema deltaico, que é considerado na literatura internacional como um dos modelos de deltas dominados por ondas, do tipo cúspide (GALLOWAY, 1975 e COLEMAN & WRIGHT, 1975).

Recentemente, Bahattacharya & Giosan (2003), concluíram que o modelo clássico de deltas dominados por ondas só mostrou boa aplicabilidade para os casos onde o transporte efetivo de sedimentos ao longo da linha de costa, a partir da desembocadura do rio, pode ser considerado negligenciável, e que este modelo não pode ser aplicado para deltas influenciados por ondas onde o transporte efetivo litorâneo é alto, como é o caso do delta do rio São Francisco.

Uma nova classificação destes deltas, designados como influenciados por ondas, foi proposta por Bhattacharya & Giosan (2003), considerando os diversos estilos de sedimentação e morfologias em função do índice de simetria da planície e reafirmou o enquadramento da planície costeira do rio São Francisco na categoria de delta.

De acordo com Fontes (2009), apenas na fase mais recente, o delta do rio São Francisco pode ser classificado como do tipo assimétrico, na qual a contribuição de sedimentos aportados pelo rio, essencialmente lamosos, se restringe a porção sotamar da foz, intercalando-se a sedimentos arenosos costeiros.

Em relação à influência do rio São Francisco na sedimentação plataformal, ressalte-se que os sedimentos grosseiros (arenosos) que chegam à região marinha ficam restritos à barra de desembocadura na frente deltaica. No passado geológico recente, a sedimentação fluvial grosseira pode ter avançado sobre a plataforma, por ocasião dos níveis de mar baixo, mas confinada aos paleovales fluviais (atuais vales incisos).

O elevado aporte de sedimentos fluviais (finos e grosseiros) durante o Quaternário influenciou diretamente a sedimentação da plataforma continental adjacente, estabelecendo uma clara diferenciação entre os setores a norte e a sul da foz do rio São Francisco, em função da distribuição dos sedimentos siliciclásticos de origem continental. A presença deste rio também estabelece uma diferenciação de caráter regional, por ser o único rio atual a exercer um papel relevante na sedimentação da plataforma continental do nordeste brasileiro.

O baixo curso do rio São Francisco e o seu delta tem sido objeto dos mais diversos estudos, mas poucos são aqueles dedicados à reconstituição da sua história geológica (BITTENCOURT, 1983; DOMINGUEZ, 1993 e FONTES, 2009). Nota-se a ausência de estudos sobre a integração entre estes sistemas e a plataforma continental adjacente, relacionando as mudanças no regime fluvial com as mudanças costeiras e marinhas, em uma perspectiva geohistórica, do início do período quaternário aos tempos históricos e atuais. A grande maioria dos trabalhos existentes data de décadas atrás, necessitando de atualização, com

exceção dos trabalhos mais recentes conduzidos por pesquisadores da UFS e da UFBA. Em relação à sedimentação plataformal, os trabalhos anteriores foram produzidos nas décadas de 70 e 80, destacando-se os trabalhos de geologia marinha da UFPE conduzidos por Coutinho (1976). Os estudos conduzidos por Fontes (2009) e pelo projeto Águas Rasas-Geologia (UFS-PETROBRAS) cobrem em parte esta lacuna, ao enfatizar as relações entre os aportes fluviais e a sedimentação marinha adjacente.

Considere-se ainda que o tema transferência de água e matéria através da “Interface terra-mar” é de interesse atual a nível global, regional e local. Uma pesquisa conduzida neste sentido amplia o conhecimento sobre a dinâmica costeira e plataformal, contribuindo para a gestão ambiental e para a avaliação de possíveis impactos ambientais decorrentes da intensa exploração de petróleo existente na plataforma continental de Sergipe. O enfoque temporal, com a reconstituição das mudanças ocorridas durante o Holoceno, é essencial para se compreender e avaliar as mudanças atualmente em curso e para se analisar os possíveis cenários futuros.

#### VIII.4. INTERAÇÃO TERRA-MAR NO CONTEXTO RECENTE

A interface terra-mar, também denominada como a margem oceânica pelos oceanógrafos, biogeoquímicos e geólogos marinhos, representa um dos elos principais que controlam o ciclo hidrológico e biogeoquímico global, regional e local. O tema sobre a transferência atual de água e matéria através da interface terra-mar é de interesse global, regional e local sendo abordado por diversos programas internacionais e projetos nacionais.

A zona costeira e a plataforma continental estão sujeitas a interações complexas entre as forças que atuam no continente e no mar. Fatores climáticos e antropogênicos podem resultar em mudanças nas condições de equilíbrio dinâmico na direção de cenários novos. Exemplos destas forças são as mudanças no escoamento superficial nas bacias hidrográficas, nível do mar e

utilização dos recursos naturais. Mudanças na descarga de rios por represamento em reservatórios resultam em grandes impactos na desembocadura e na zona costeira e plataforma continental adjacente.

A interface terra-mar do cinturão tropical com plataformas continentais passivas, inclusive a do Brasil, é responsável pela maior fração global do aporte continental de matéria em suspensão e nutrientes, e o estoque de carbono inorgânico e orgânico sedimentar. O aporte fluvial da matéria em suspensão e de elementos biogênicos é imprescindível para a sustentação da flora e fauna na plataforma continental e a carga fluvial de sedimentos siliclásticos de maior densidade repõem o estoque do sedimento costeiro sujeito a processos erosivos marinhos. Entretanto, deve-se considerar a grande variabilidade regional e local da transferência e deposição de matéria nestas margens oceânicas tropicais, inclusive a dos setores Nordeste Oriental e Leste-Norte do Brasil, dentro qual se enquadra a área de estudo do Projeto Águas Rasas (Milliman e Syvitski, 1992; Coutinho 1995; Hay, 1998; Knoppers *et al.* 1999a; Vörösmarty e Sahagian, 2000; Jennerjahn e Ittekkot, 1997 e 2002; Seitzinger *et al.*, 2003; Syvitski *et al.*, 2005; Knoppers *et al.* 2009).

Impactos antrópicos múltiplos nas bacias de drenagem, tal como o desmatamento, a agricultura, a urbanização, a industrialização e obras de engenharia (barragens, reservatórios, retificações, portos e proteções), estão gerando alterações dos fluxos de água e matéria na interface Terra-Mar e, assim, modificações do balanço hídrico e biogeoquímico, do metabolismo e da qualidade da água dos ecossistemas lacustres, estuarinos e costeiros.

Destaca-se no contexto deste trabalho a preocupação internacional e nacional sobre o impacto de barragens nos rios e a zona costeira (Tundisi *et al.*, 1998; Fontes, 2002; Souza *et al.* 2003; WCD 2000; Vörösmarty *et al.*, 2005; Medeiros *et al.* 2007). Barragens alteram a vazão do rio a jusante em função da demanda de energia elétrica, irrigação e controle de cheias. Os reservatórios retêm matéria em suspensão, sedimentos e outros materiais associados, tal como nutrientes e contaminantes, que são transformados, reciclados ou acumulados. Desta forma, ambos os componentes modificam a carga e a qualidade do aporte

de matéria à jusante, afetando o balanço hídrico, sedimentar e biogeoquímico, e a fertilidade dos seus estuários e as águas costeiras.

Resultados de diversos estudos geoquímicos realizados nos ecossistemas estuarinos mostram que parte considerável dos contaminantes, a exemplo dos hidrocarbonetos e metais, é transportada do rio para o mar na fração particulada, sendo depositada nos sedimentos de fundo da plataforma continental e talude.

Diagnósticos ambientais, inclusive aqueles destinados à avaliação das atividades de produção de petróleo e gás, em regiões costeiras e plataformais fortemente influenciadas por descargas fluviais devem incluir a avaliação desta interação. Estes estudos são relevantes não só à compreensão do contexto natural de distribuição granulométrica e composicional de sedimentos como para avaliar as mudanças recentes nestas regiões, como consequência distal das intervenções antrópicas nas bacias hidrográficas. Estas informações são extremamente úteis para a distinção entre causas distais e locais de mudanças no substrato plataformal e na vida marinha quando da avaliação de impactos produzidos pela exploração e produção de petróleo.

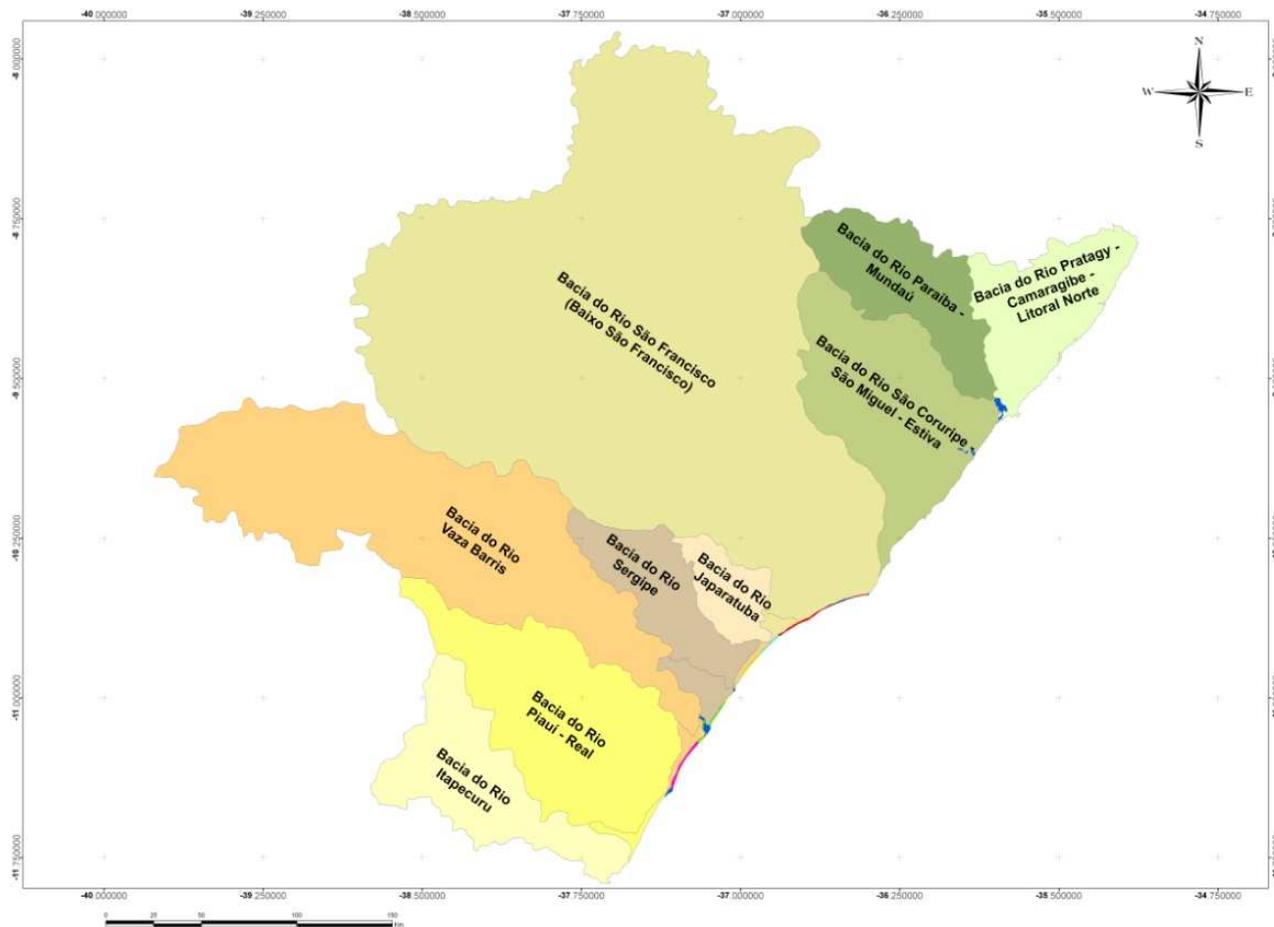
As unidades de produção petrolíferas da PETROBRAS estão localizadas em áreas sob forte influência do aporte fluvial e processos de interação terra-mar. Os campos de Guaricema, Caioba, Camorim e Dourado estão localizados na área de influência fluvial dos rios Vaza-Barris e Sergipe, o campo de Salgo na área lamosa de influência do rio São Francisco. O campo de Paru, localizado no sul de Alagoas fora da área de influência do São Francisco.

A última fase do projeto “Águas Rasas-Geologia” consistiu no estudo das interações entre o continente e o mar nos tempos históricos, particularmente nas últimas centenas de anos. Estes estudos são importantes para obtenção de um maior conhecimento sobre as influências dos aportes fluviais na sedimentação plataformal e para subsidiar a avaliação dos impactos ambientais das atividades humanas, como o barramento de rios e a exploração petrolífera.

### VIII.4.1. Bacias de drenagem atuais e a plataforma continental

De acordo com a classificação das bacias de drenagem da Agência Nacional de Águas (ANA,2010), a costa de Sergipe e Alagoas incorpora um trecho pequeno do setor sul da bacia do Atlântico Nordeste Oriental (sub-bacia 39), a bacia do Baixo São Francisco (sub-bacia 49) e parte do setor Norte da Bacia do Atlântico Leste (sub-Bacia 50). O aporte fluvial é moderado e ocorre através de inúmeros rios de pequeno porte, com exceção ao rio São Francisco, de médio a grande porte, cuja bacia de drenagem é a maior integralmente dentro do território Brasileiro.

Na região de influência da bacia sedimentar Sergipe/Alagoas considera-se neste estudo, além do rio São Francisco, os aportes fluviais fornecidos desde os rios São Miguel e Coruripe (AL) até o rio Real/Piauí-Piauitinga (BA/SE) ao Sul da área de estudo (BA/SE). A Figura VIII.6 apresenta as bacias de drenagem que integram a zona costeira dos estados de Sergipe e Alagoas. Além da sub-bacia 49 da zona costeira do rio São Francisco, os rios Sergipe, Vaza-Barris, Real-Piauí possuem natureza transfronteiriça, ou seja, ultrapassa a fronteira do Estado de Sergipe. As demais bacias dos rios São Miguel e Coruripe (AL) e Japarutuba são bacias internas dos estados.



**Figura VIII.6.** Composição e extensão transfronteiriça das bacias de drenagem da área de estudo. A sub-bacia 49 do rio São Francisco incorpora a área ao norte e ao sul da divisa entre os estados de Sergipe e Alagoas e as bacias dos rios Vaza-barris, Real/Piauí-Piautitinga e Sergipe ultrapassam a fronteira do Estado de Sergipe .

As áreas das bacias de drenagem dos rios variam em diversas ordens de grandeza (Tabela VIII.1), sendo a maior a do São Francisco, seguida do Vaza-Barris e o complexo das bacias dos rios Real/Piauí-Piauitinga, que desembocam em conjunto no mar. Embora a bacia do rio São Francisco apresente uma área de 640.000 km<sup>2</sup>, a sub-bacia 49 definida pela ANA como o Baixo São Francisco possui desde a jusante da barragem do Xingó (180 km da costa) uma área de 36.000 km<sup>2</sup>. O aporte fluvial do rio São Francisco será tratado em separado das outras bacias de pequeno porte.

**Tabela VIII.1.** Regiões Hidrográficas abrangidas neste estudo e os principais rios com as áreas das suas bacias e comprimento (L) que aportam a Zona Costeira Sergipe-Alagoas. As regiões hidrográficas e as sub-bacias correspondem à definição da Agência Nacional de Águas).

Região Hidrográfica	Sub-bacia	Principais Rios	Foz	Área de Drenagem (Km <sup>2</sup> )	L (Km)
Atlântico Nordeste Oriental-Sul	39	São Miguel	AL	754	90
		Coruripe	AL	1.562	150
São Francisco	40 a 49	São Francisco	SE/AL	640.000	2863
Atlântico Leste-Norte	50	Japarutuba	SE	1.841	80
		Sergipe	SE	1.343	110
		Vaza - Barris	SE	16.200	320
		Piauí/Piauitinga	SE	3.993	125
		Real	SE	4.850	200

As bacias de drenagem refletem a intensa exploração dos recursos naturais na zona costeira, sendo impactadas pela alteração no uso do solo com a remoção da vegetação nativa da mata atlântica pela monocultura da cana de açúcar no

setor norte (Alagoas, bacia dos rios São Miguel e Coruripe) e pela agropecuária e fruticultura no setor sul (Sergipe, bacia dos rios Japarutuba, Sergipe, Vaza Barris, Piauí e Real). Além da exploração dos recursos hídricos a bacias hidrográficas sofrem o impacto de inúmeros micros e pequenos barramentos, que são feitos para a dessedentação de animais, o abastecimento humano e a irrigação de cultivos nas bacias de drenagem do estado de Sergipe; pela intensa exploração do potencial hidroelétrico na bacia do rio São Francisco e pela irrigação da monocultura de cana de açúcar nas bacias dos rios São Miguel e Coruripe/AL (SOUZA e KNOPPERS, 2003; SRH-SE 2004; MEDEIROS *et al.* 2007). O adensamento urbano é concentrado na cidade de Aracajú (SE) com em torno de 500.000 habitantes. Efluentes domésticos e industriais oriundos das fábricas de tecidos, processamento de açúcar, papel, alimentos e fertilizantes são introduzidos no estuário do rio Sergipe.

Além do aporte de material fluvial para a plataforma continental, outras fontes de matéria em suspensão e sedimentos devem ser consideradas como a contribuição oriunda da intensa erosão costeira e das falésias dos tabuleiros, em função do regime de alta energia de ondas do NE e E que afetam a região inteira. Este material está sujeito ao processo de ressuspensão contínuo, sendo transportado ao longo da plataforma continental interna (Knoppers *et al.* 1999b; Knoppers *et al.* 2006; Oliveira 2009). Postula-se que a atual tendência do aumento do nível do mar na faixa de 2 – 4 mm/ano possa gradativamente incrementar a erosão costeira (Pirazolli 1986; Aubrey *et al.* 1988), embora esta causalidade ainda deva ser estabelecida (MUEHE e NEVES 1995).

A Tabela VIII.2 apresenta informações sobre as vazões dos principais rios da costa de Sergipe e sul de Alagoas.

**Tabela VIII.2.** Regiões hidrográficas, sub-bacias, principais rios, área de drenagem e comprimento (L) e vazão média para rios que aportam a zona costeira de Sergipe-Alagoas.

Região Hidrográfica	Sub-bacia	Principais Rios	Foz	Área de Drenagem (Km <sup>2</sup> )	L (Km)	Vazão Média (QLT) (m <sup>3</sup> /s)
Atlântico Nordeste Oriental-Sul	39	São Miguel	AL	754	90	3,6
		Coruripe	AL	1.562	150	7,4
São Francisco	40 a 49	São Francisco	SE/AL	640.000	2863	1758
Atlântico Leste- Norte	50	Japarutuba	SE	1.841	80	3,1
		Sergipe	SE	1.343	110	4,1
		Vaza – Barris	SE	16.200	320	11,4
		Piauí/Piautinga	SE	3.993	125	5,2
		Real	SE	4.850	200	12,9

Obs: As regiões hidrográficas e as sub-bacias correspondem a definição da Agência Nacional de Águas.

Em geral, todos os rios das bacias da zona costeira de Sergipe e Alagoas se manifestam como rios de pequeno porte com comportamento intermitente a curto prazo e vazões médias de longo prazo (QLT) na ordem de 3,1 a 12,9 m<sup>3</sup>/s, ao contrário do rio São Francisco com vazões médias atuais QLT do período pós-barragem de em torno de 1758 m<sup>3</sup>/s. Em comparação a média QLT da vazão do período Pré-Barragens (1938 a 1973) de 3008 m<sup>3</sup>/s, o rio São Francisco perdeu em torno de 42 % do seu transporte de água à zona costeira.

## VIII.4.2. Impactos da barragens no rio São Francisco

A bacia de Sergipe e Alagoas se destaca em comparação às outras áreas do Nordeste, por receber aporte de material continental do rio São Francisco, que possui a maior bacia de drenagem dentro do território Brasileiro. Assim, o rio São Francisco corresponde à um exemplo clássico dos impactos drásticos que a construção de barragens acarretam à zona costeira (Bessa e Paredes 1990; ANEEL 2000; Werneck *et al.*, 2001; Fontes, 2002; Medeiros 2003; Souza e Knoppers, 2003; Knoppers *et al.*, 2006; Medeiros *et al.*, 2007; Fontes e Latrubesse, 2009; Fontes e Bitencurti, 2010).

O rio São Francisco (SF) nasce no Estado de Minas Gerais na Serra da Canastra em 1.800 m de altitude. Sua extensão é 2.863 km e a área da bacia é 639.219 km<sup>2</sup>. Corresponde com uma cobertura de 7,5 % do território nacional. De acordo com a classificação da Agência Nacional de Águas (ANA), divide-se nos setores fisiográficos do Alto, Médio, Sub-médio e Baixo São Francisco. A bacia atravessa vários regimes climáticos (Bernardes, 1951), com clima tropical úmido do tipo Köppen Aw no Alto SF, do tipo Aw a BShw no Médio SF, do tipo semi-árido BShw no Sub-médio SF e do tipo As', quente e úmido, na zona costeira do Baixo SF.

O rio São Francisco atravessa diversas regiões climáticas, geológicas e geomorfológicas de cinco estados (Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas) e sua bacia hidrográfica está sujeita a inúmeros usos (ANA 2001). As suas águas são utilizadas para a irrigação, potabilidade pelos centros urbanos e a geração de energia elétrica, tanto nas suas sub-bacias e afluentes quanto ao longo do eixo principal do rio. Existem diversos conflitos de uso das águas com impactos ambientais, tal como, a extração mineral no Alto SF, uso descontrolado das águas para a irrigação, as alterações geradas nos fluxos de água e retenção de sedimentos pelas barragens e seus reservatórios, como também, o projeto de transposição transfronteiriça das suas águas. Os conflitos de usos existentes e

potenciais também foram assinalados no Plano de Recursos Hídricos da bacia aprovado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco.

Fontes (2002) e Medeiros (2007) estabeleceram uma cronologia dos sucessivos períodos resultantes da construção das grandes barragens ao longo do rio São Francisco, ambos identificando 4 (quatro) intervalos de alteração do regime hidrológico fluvial (Tabela VIII.3), desde o período de rio natural ao período de rio regulado. Existe uma coincidência entre os períodos individualizados por estes autores, apesar de algumas pequenas diferenças nos anos utilizados como limites dos mesmos.

No sub-médio e no baixo São Francisco a cascata de barragens foi construída a partir da década de 50. A barragem de Sobradinho, com início de operação em 1978, localizada a aproximadamente 800 km da costa, controla o regime hídrico das demais barragens à jusante, uma vez que é a única com grande capacidade de regularização.

A barragem do Xingó, localizada 180 km da foz, corresponde à última da série da cascata e entrou em operação em 1994 (Tabela VIII.3). A partir deste período a vazão do rio foi definitivamente regularizada.

As barragens promovem o principal impacto antrópico da bacia na zona costeira, sendo as demais intervenções humanas (urbanização, aquicultura e, recentemente, o agronegócio) de menor interferência no corpo hídrico. As águas do rio são transparentes à jusante da barragem de Xingó e a pluma de turbidez se restringe à foz e ao seu pró-delta atual.

As principais modificações induzidas pela construção das barragens foram a modulação ou regularização total da vazão (necessário à geração de energia hidroelétrica) e a grande retenção de sedimentos fluviais nos reservatórios (Fontes, 2002; Medeiros et al 2007). O rio São Francisco desde a década de Setenta, perdeu ao redor de 42 %, 95 % e 90 % do seu aporte de água, matéria em suspensão e nutrientes à zona costeira, respectivamente, como consequência da construção das grandes barragens.

**Tabela VIII.3** - Períodos de regularização das vazões fluviais definidos pelas usinas hidroelétricas localizadas ao longo do rio São Francisco. Hidroelétricas por ordem cronológica de início operação, com capacidade de armazenamento e tempo de residência de água dos reservatórios. Fonte: Fontes (2002).

USINA HIDRELÉTRICA	INÍCIO DE OPERAÇÃO	TEMPO DE RESIDÊNCIA DAS ÁGUAS NO RESERVATÓRIO	CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO Km <sup>3</sup>	POTÊNCIA (MW)	REGIAO DA BACIA	EMPRESA
PAULO AFONSO PILOTO	1954			2	SubMédio- baixo	CHESF
PAULO AFONSO I	1955	8 dias		180	SubMédio- baixo	CHESF
TRÊS MARIAS	1963		21	396	Alto	CEMIG
PAULO AFONSO II	1965	8 dias		445	SubMédio- baixo	CHESF
PAULO AFONSO III	1968	8 dias		800	SubMédio- baixo	CHESF
<b>PERÍODO 1978-1987</b>						
APOLONIO SALES/ MOXOTÓ	1978	5 dias	1,2	400	SuMédio	CHESF
<b>SOBRADINHO</b>	<b>1978</b>		<b>34</b>	<b>1.050</b>	SubMédio	CHESF
PAULO AFONSO IV	1980	5 dias		2.460	SubMédio- baixo	CHESF
<b>PERÍODO 1988-1993</b>						
ITAPARICA	1988	2,4 meses	10,8	1.500	SubMédio- baixo	CHESF
<b>PERÍODO 1994-atual</b>						
XINGÓ	1994	16 dias	3,8	3.000	Baixo	CHESF
PAULO DE AÇUCAR (a construir)	(2008) (a previsão)			330	Baixo	CHESF

O rio São Francisco apresentou distintos comportamentos de vazões em cada um dos estágios definidos pela construção das grandes barragens ao longo do seu leito principal (antes, durante e após) (Tabela VIII.4).

**Tabela VIII.3.** Média anual, desvio padrão, mínimos e máximos da vazão da estação fluviométrica de Traipú, dos quatro estágios hidrológicos identificados através da análise de dados pretéritos da ANEEL. Fonte: Medeiros et al. (2007).

Estágio	Média (m <sup>3</sup> /s)	Desvio Padrão (m <sup>3</sup> /s)	Mínimo (m <sup>3</sup> /s)	Máximo (m <sup>3</sup> /s)
1938-1973	3008	852	1768	5244
1977-1985	3136	824	1916	4019
1986-1994	2204	749	1498	3779
1995-2001	1758	235	1405	1980

As alterações drásticas das médias diárias das vazões durante o período de 1977 a 2005, que inclui os três estágios (durante e após o término da construção das barragens) são evidenciadas com as vazões extremas entre 8000 a 15000 m<sup>3</sup>/s e as oscilações das vazões regularizadas entre 1400 a 2000 m<sup>3</sup>/s.

Em resumo, o aporte fluvial de água do rio São Francisco entre o período pré-barragens (1938-1973), com volume médio de 94,9 ± 26,9 km<sup>3</sup>/ano e pós-barragens (1995-2001) com volume médio de 55,5 ± 7,4 km<sup>3</sup>/ano, diminuiu drasticamente em 42 %. As barragens eliminaram a pulsação sazonal unimodal natural do aporte ao estuário.

As modificações dos eventos extremos de baixas e altas vazões também foram considerados nos estudos de Fontes (2002), Medeiros et al. (2007) e Fontes e Latrubesse (2009). Fontes e Latrubesse (2009) analisaram a recorrência de cheias para cada período sob influência das barragens, aplicando a distribuição de Gumbel nos dados da estação de Piranhas e mostraram o aumento do intervalo de recorrência e a diminuição das vazões máximas, na mesma ordem cronológica de construção das barragens. As inundações típicas do rio São Francisco situavam entre 6000 e 8000 m<sup>3</sup>/s, atingindo valores de 12000 a 14600 m<sup>3</sup>/s, entre os anos de 1960 a 1985. Desde 1988 as cheias

decreceram drasticamente para 3339 m<sup>3</sup>/s. A partir de 1994, devido à entrada em operação de Xingó, somada aos efeitos da cascata de barragens à montante, as cheias foram afetadas e os intervalos de recorrência de cheias foram incrementados.

O rio São Francisco transbordava anualmente e a média anual de descarga de cheias era de 8.001 m<sup>3</sup>/s na estação de Piranhas. Após a construção da barragem de Sobradinho, as cheias sazonais passaram a sofrer importantes modificações, principalmente após o Governo Federal promover mudanças nas regras de operação da barragem – originalmente planejada para potencializar a geração de energia elétrica - visando também atuar no controle das cheias.

De 1988 a 1993 as vazões do rio e as cheias anuais foram fortemente reguladas. Ambas, e descarga média anual e descarga média anual de inundação decresceram para  $Q_{\text{mean}}=1936 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $Q_{\text{maf}}=5830 \text{ m}^3/\text{s}$ , respectivamente, na estação de Piranhas (Fontes e Latrubesse, 2009). A barragem de Itaparica iniciou sua operação durante este período, sendo responsável pelo trapeamento de parte das vazões excedentes de Sobradinho durante os períodos de altas vazões e, também, as eventuais vazões de cheias originadas do sub-médio São Francisco (região semi-árida). A regulação não eliminou totalmente as cheias, a exemplo do pico de cheia de 1192 e das descargas relativamente altas de 1993.

De 1994 aos dias atuais, a regularização foi extrema e apenas alguns picos de inundação de curta duração ocorreram em 2004 e 2007. A descarga média anual decresceu para 1654 m<sup>3</sup>/s e a recorrência de cheias mudou dramaticamente (Fontes e Latrubesse, 2009). Por doze anos foi assumido por técnicos e comunidade local que o baixo São Francisco estava livre de inundações após a construção de Xingó. Entretanto, em 2004 e 2007, vazões elevadas foram registradas e as barragens foram obrigadas a liberar a água excedente.

Os eventos de cheias que ainda ocorrem de forma esporádica são de extrema relevância uma vez que alteram drasticamente a curto prazo o balanço hídrico do estuário do rio São Francisco e ainda possuem o potencial de gerar plumas

costeiras de ampla extensão que podem afetar a região costeira de Sergipe e Alagoas.

### **VIII.4.3. Aporte de sedimentos do São Francisco para a plataforma continental**

Um dos impactos resultantes da construção de grandes barramentos em um rio é a retenção nos reservatórios de grande parte dos sedimentos provenientes a montante do rio, que modifica o fluxo de matéria e a dinâmica à jusante das barragens. As barragens provocam redução na velocidade da corrente, aumento do tempo de residência das águas nos reservatórios, provocando a deposição das partículas finas (transportadas como carga suspensa) e grosseiras (transportadas como carga de fundo) dentro do reservatório, impedindo o trânsito de sedimentos grosseiros.

Além disso, os minerais que compõem os sedimentos são catalisadores, carreadores e agentes fixadores de matéria orgânica e compostos químicos. A depender do tempo de residência da água no reservatório, por decantação, diversos compostos podem acumular no fundo juntamente com os sedimentos, o que configura uma retenção dos nutrientes que seriam utilizados para alimentação da fauna aquática de jusante e na plataforma continental.

No caso específico do rio São Francisco, uma grande parte da carga sólida fica retida em Sobradinho e na cascata de barragens rio abaixo. A barragem de Xingó representa o elo final da cadeia de retenção de sedimentos provenientes de montante.

A Tabela VIII.5 apresenta uma compilação dos valores obtidos para a taxa de sedimentos em suspensão, desde 1970 até 2002, evidenciando a drástica redução na carga suspensa após a construção das barragens. A retenção de matéria em suspensão (MS) pelas barragens ocasionou uma redução significativa das cargas à zona costeira. Embora as informações ao longo do tempo variem em

função da variabilidade da frequência temporal das medições observa-se forte redução das cargas anuais de MS em t/ano (Tabela VIII.5), nas estações fluviométricas de Traipú (120 km da costa) ou Propriá (80 km da costa).

A carga de material em suspensão para o período pré-barragens foi estimada por Milliman (1975) em  $69 \times 10^5$  t/ano, ocorrendo uma drástica diminuição na fase da regularização definitiva da vazão, estimada por Medeiros (2003) em  $2,3 \times 10^5$  t/ano.

**Tabela VIII.4.** Médias anuais das cargas anuais de matéria particulada em suspensão (MPS) dos ciclos anuais. Fonte: Medeiros (2003) e Medeiros et al. (2007).

Período de Estudo	Estação Fluviométrica	Carga Média Anual (t.ano <sup>-1</sup> )	Referência
1970	Traipú	$69 \times 10^5$	Milliman 1975
1984-1985	Propriá	$21 \times 10^5$	Bessa e Paredes 1990
1986-1999	Propriá	$18 \times 10^5$	Werneck et al. 2001
2001	Propriá	$2,3 \times 10^5$	Medeiros 2003

Comparando os resultados do ciclo hidrológico de 1970 com o de 2001 (11/2000 a 03/2002), a carga média anual de MS entre os cenários antes e após a construção das barragens foi reduzida em 94 % (Tabela VIII.5). As águas turvas do período pré-barragens apresentaram concentrações de MS em torno de 70 mg.L<sup>-1</sup> enquanto no período pós-barragens tornaram-se transparentes, com concentrações de MS variando de 4 a 10 mg.L<sup>-1</sup> (WERNECK *et al.* 2001; MEDEIROS 2003; MEDEIROS *et al.* 2007 e OLIVEIRA, 2001).

Quanto à carga de fundo, a pequena contribuição advinda do trecho entre as barragens de Paulo Afonso e Xingó deposita-se na porção mais à montante do reservatório, não tendo possibilidade de entrar nas tomadas d'água das turbinas da usina de Xingó, situadas a 138 m de altura.

Dados de transporte de sedimentos obtidos pela equipe de pesquisadores da UFAL (PROJETO GEF SÃO FRANCISCO, 2001), entre Propriá e a foz, permitiram elaborar uma estimativa de transporte total de sedimentos da ordem de apenas  $0,466 \times 10^6$  toneladas no ano de 2000, resultante do somatório do transporte por arrasto e por suspensão (Tabela VIII.6).

**Tabela VIII.5.** Teores médios de sedimentos em suspensão no baixo curso do rio São Francisco entre 1970 e 2002. Modificado de Oliveira, 2001 (UFAL/Projeto GEF São Francisco- ANA/PNUMA/OEA).

ANO	TEOR MÉDIO (mg/l)	Referência
1970	70	Milliman, 1975
1984-85	27	Santos, 1993
2000	4	Projeto GEF SF/UFAL, 2001
2001	5	Projeto GEF SF/UFAL, 2001
2002	~8	Projeto GEF SF/UFAL, 2001

Comparando-se os dados de 2002 com aqueles obtidos em anos anteriores, verifica-se uma notável diminuição da carga sólida total transportada. Os valores de 2002 representam apenas 3,8% dos sedimentos transportados antes da implantação das barragens rio acima (Tabela VIII.7).

**Tabela VIII.6.** Alterações na carga total de sedimentos transportada anualmente no baixo curso do rio São Francisco, entre 1966 e 2000, calculados em (1) PÃO DE AÇÚCAR; (2) FOZ; (3) PROPRIÁ. Fontes de dados: (1) OEA/PLANVASF (1986); Oliveira (2001). (2) Milliman (1983) e (3) PROJETO GEF SÃO FRANCISCO/UFAL (2001).

#### PERÍODO PRÉ-BARRAGEM DE SOBRADINHO

(1)	1966 – 1968	12 ( x 10 <sup>6</sup> ton. ano <sup>-1</sup> )
-----	-------------	---

#### PERÍODO PÓS-BARRAGEM DE SOBRADINHO

(2)	1983	6 ( x 10 <sup>6</sup> ton. ano <sup>-1</sup> )
-----	------	--

#### PERÍODO PÓS-BARRAGEM DE XINGÓ

(3)	2000	0,466 ( x 10 <sup>6</sup> ton. ano <sup>-1</sup> )
-----	------	--

### VIII.4.4. Alterações no delta atual do São Francisco

O delta do rio São Francisco mudou por diversas vezes de estilo de sedimentação e morfologia ao longo de sua história evolutiva como consequência das formas de interação entre os forçantes fluviais e marinhos.

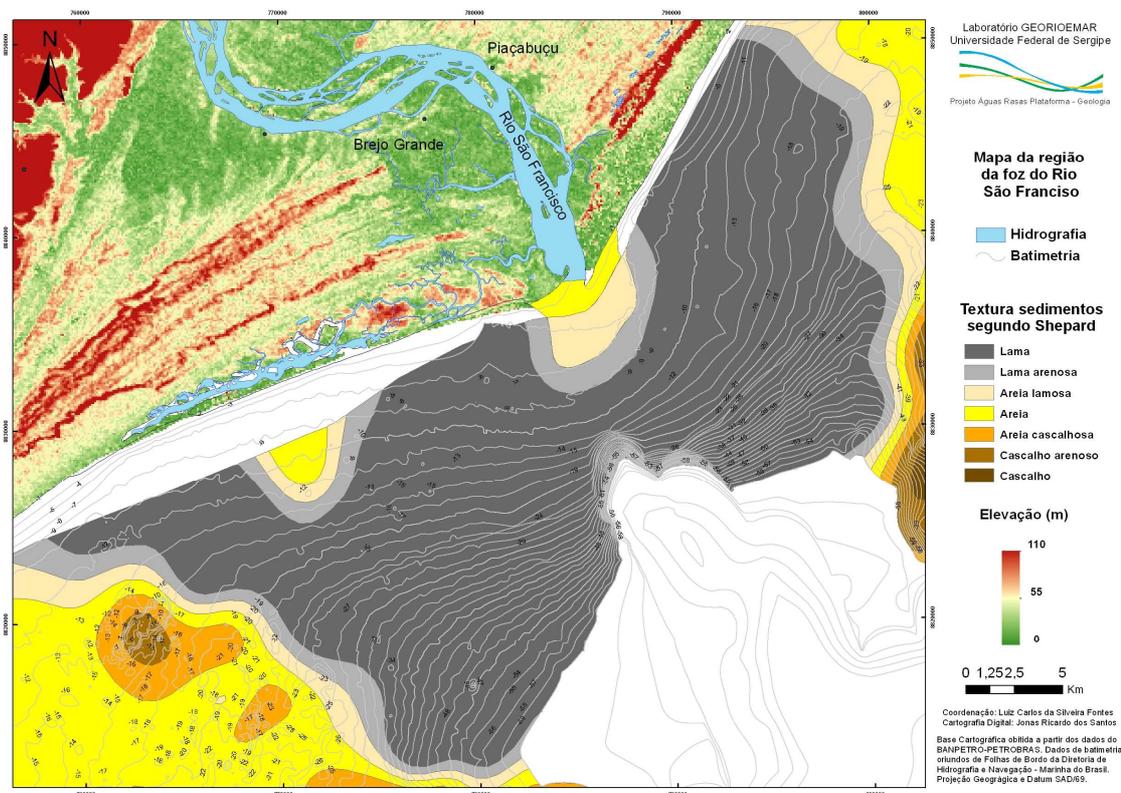
Na fase evolutiva mais recente, o delta assumiu a sua configuração atual, em forma de cúspide assimétrica, em decorrência do equilíbrio alcançado entre a magnitude e ângulos de incidência dos aportes fluviais, as frentes de ondas e a deriva litorânea. Até recentemente, a linha de costa avançava em direção ao mar, através da acumulação de sedimentos arenosos na porção norte (margem esquerda, à barlar da deriva litorânea) oriundos do transporte norte-sul da deriva litorânea e no lado oposto, à sotamar da desembocadura fluvial, através da acumulação e intercalação de sedimentos de origem fluvial e litorâneos (ilhas barreiras e pontais arenosos), dando origem a extensos manguezais.

A área submersa adjacente à foz é ocupada pelo lóbulo da frente deltaica. O mapeamento dos sedimentos superficiais de fundo atuais (Figura VIII.7) demonstrou que os sedimentos arenosos estão restritos à plataforma interna. Assim, a contribuição de sedimentos grosseiros provenientes do rio São Francisco se restringe à barra de desembocadura fluvial proximal, que tem uma

forma convexa. No seu entorno, se desenvolve a barra de desembocadura distal constituída por areia lamosa e lama arenosa e intercalações areia-lama. Estas fácies sedimentares também foram identificadas em subsuperfície, em furos de sondagem perfurados na atual linha de costa (Fontes, 2009). Apenas uma pequena fração de areia é transportada em direção à plataforma continental (prodelta), sendo depositada junto com os sedimentos lamosos.

É esta dinâmica que vem comandando em linhas gerais a deposição deltaica nos tempos históricos, mas inclui alterações periódicas em funções das mudanças na hidrologia fluvial, a qual intercala as variações no regime hidro-sedimentológico dos períodos úmidos, intermediários e secos.

Após a construção da cascata de grandes barragens ao longo do rio São Francisco novas mudanças foram induzidas pela intervenção humana e se sobrepuseram às mudanças naturais. Estas alterações foram significativas, como demonstradas nos itens anteriores, e vem provocando, mais recentemente, modificações relevantes na interação rio-mar, o que será discutido a seguir.



**Figura VIII.7.** Distribuição dos sedimentos superficiais de fundo na região sob influência direta do rio São Francisco na fase mais recente da evolução deltaica.

## **Modificações no lóbulo deltaico ativo no período histórico**

À frente deltaica é uma área onde correntes carregadas de sedimentos entram na bacia sedimentar e interagem com os processos bacinais (litorâneos e marinhos). Na desembocadura do canal, os fluxos fluviais expandem lateralmente e verticalmente e desaceleram, provocando a diminuição da competência do fluxo e a deposição dos sedimentos (Reading, 1994).

Em contextos onde os processos associados a ondas são importantes, desenvolvem-se, além do lóbulo deltaico diretamente associado ao prolongamento subaquoso do canal fluvial, as feições e depósitos das barras arenosas, pontais arenosos e cordões litorâneos, sejam adjacentes à desembocadura do canal fluvial ou ao longo da costa na direção da deriva litorânea.

Os processos de ondas redistribuem a maior parte dos sedimentos aportados à frente deltaica, desenvolvendo-se somente uma pequena protuberância da linha de costa, com a formação de barra de desembocadura parcialmente submersa. A progradação do delta se dá por acresção de cordões litorâneos ao longo de toda a frente deltaica e não apenas ao redor de pontos individuais (foz) de aporte de sedimentos de origem continental (Curry, Emmel & Crampton, 1969). A progradação do delta gera uma arquitetura deposicional, na qual os depósitos da frente deltaica se sobrepõem aos depósitos marinhos do prodelta.

No caso do delta do rio São Francisco, o lóbulo deltaico é formado pelo prolongamento submerso do canal fluvial e por uma ampla barra de desembocadura formada por sedimentos arenosos (barra proximal), seguidos por uma faixa de deposição de sedimentos mais finos (barra distal). Na plataforma continental forma-se por uma ampla zona de deposição de sedimentos lamosos predominantemente aportados pelo canal fluvial (prodelta).

No período histórico ocorreram diversas mudanças na morfologia e na posição do lóbulo deltaico do rio São Francisco. A reconstituição destas mudanças foi realizada por Fontes *et al.* (2008) e Fontes (2009) com base no co-

registro e na análise multitemporal de mapas históricos, imagens de satélites, aerofotos e mapas do período 1942 a 2007.

Fontes *et al.* (2008) e Fontes (2009) concluíram que a foz do rio São Francisco, a exemplo de outras desembocaduras fluviais, exhibe uma dinâmica ativa que intercala episódios avanço e recuo da linha de costa, em decorrência da interação entre os forçantes marinhos e fluviais. As variações da posição da linha de costa exibem padrões que se alternam, ao longo do período estudado, ora de avanço ora de recuo, mas com uma característica marcante: ao final, resultavam em um avanço efetivo da linha de costa.

Nos últimos anos tem-se registrado um episódio severo de erosão que provocou um forte recuo da linha de costa, atingindo áreas estabilizadas desde o século XVIII e provocando a completa destruição do povoado Cabeço, em Sergipe (Fontes, 2002; Fontes *et al.*, 2008; Fontes e Bitencurti, 2010). O episódio atual, iniciado em 1986, exhibe um padrão distinto, com recuo contínuo, acompanhado da inflexão do prolongamento subaquático do canal fluvial para sul e de mudanças na morfologia dos depósitos arenosos subaquosos (barra de desembocadura) não observada em nenhum dos episódios históricos anteriores. Esta inflexão provocou o abandono do lóbulo deltaico que esteve ativo até o final da década de 90.

Fontes *et al.*(2008); Fontes e Bitencurti (2010) alerta para o fato deste episódio coincidir com a ampliação do controle humano sobre o regime hidro-sedimentar do rio São Francisco, uma vez que desde a década de 70 vem sendo promovida regularização das vazões fluviais e a retenção de sedimentos através da construção e operação das grandes barragens.

O mapeamento das feições morfológicas emersas e submersas da barra de desembocadura (Fontes *et al.*, 2008) mostrou as mudanças que ocorreram na posição da foz, trajeto do prolongamento subaquoso do canal fluvial e na posição e morfologia da barra de desembocadura nos últimos 70 anos, induzidas pelas mudanças naturais nas condições de contorno e, mais recentemente, pelas mudanças induzidas pela ação antropogênica através da construção e operação das grandes barragens.

Estudos desenvolvidos por Fontes (2009), Bittencourt et al. (2007) e Fontes *et al.* (2008), Fontes e Bitencurti (2010) demonstraram que as mudanças no predomínio de episódios de avanço e recuo da linha de costa e, conseqüentes mudanças na configuração da linha de costa, estavam relacionadas às modificações nos aportes fluviais do rio São Francisco. O estudo multitemporal das mudanças da linha de costa adjacente a foz (Fontes e Bitencurti, 2010) permitiu a individualização das fases que caracterizaram o comportamento da linha de costa nas últimas seis (6) décadas (Tabela VIII.8), e que tem uma estreita correspondência com as mudanças na barra de desembocadura.

**Tabela VIII.8 - Períodos de comportamento da linha de praia na região adjacente à foz do rio São Francisco. Fonte: Fontes e Bitencurti (2010).**

Fases identificadas	Comportamento da Linha de Praia
1956-1979	Estável
1979-1988	Progradação
1988-2001	Retração
2001-2010	Retração e migração da foz para sudoeste

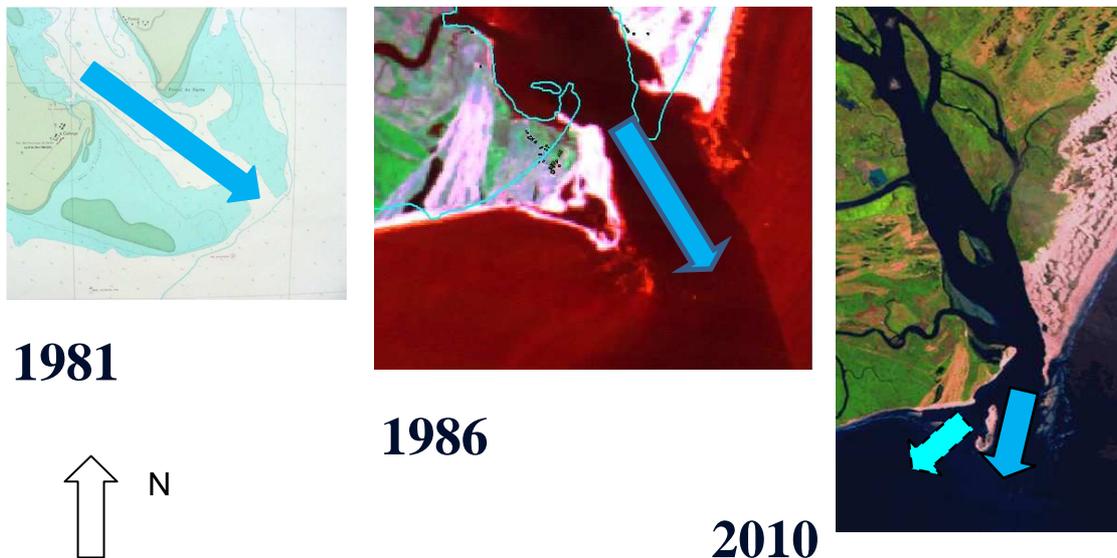
Fontes (2009) demonstrou que a partir de 1988 pode ser reconhecida uma nova fase de evolução deltaica, com o domínio do recuo acentuado da linha de costa, estreitamento da faixa de praia, associados à atuação da erosão costeira, principalmente na margem sul da foz (Figura VIII.8). Esta nova fase é marcada por um episódio de erosão severa que provocou um acentuado recuo da linha de praia em ambas as margens da foz, atingindo a linha de vegetação (linha de costa). Na porção subaquosa, ocorreu não só mais uma migração da posição e orientação da barra de desembocadura, mas uma mudança significativa da sua morfologia e no padrão do canal subaquoso. Nos últimos anos, enquanto prosseguia a retração da linha de costa, o trecho final do canal fluvial e do seu prolongamento subaquoso sofreu uma forte inflexão para sudoeste (Fontes, 2009).

No lobo deltaico, além da migração do prolongamento subaquoso do canal fluvial, ocorreu a mudança da posição da barra de desembocadura no sentido horário, de NW-SE para sul e depois para sudoeste, como já verificado em episódios anteriores (1942, 1972, etc.) e com tendência a assumir uma orientação geral de NE-SW.

Esta configuração reflete um nítido diferencial em relação a episódios anteriores: pela primeira vez em todo o período monitorado, o prolongamento subaquoso do canal fluvial do rio São Francisco deixa de ser único e passa a se subdividir em vários distributários a partir de 1990 (Fontes, 2009). O arco externo da barra de desembocadura, ao contrário dos anos anteriores, mostra-se descontinuado no lado sotamar, devido à dissecação e segmentação promovida

pelos distributários e os pequenos núcleos gerados passam a se orientar no sentido da corrente, ou seja, para sul e sudoeste.

A partir de 2003 fica mais evidente nas imagens de satélite e aerofotos, a deflexão para sudoeste do trecho final do canal do rio São Francisco e do seu prolongamento subaquoso (Fontes, 2009). Concomitantemente, ocorre o abandono do antigo arco da barra de desembocadura, o qual começa a entrar em uma fase destrutiva, mas que ainda subsiste como um relicto, sendo submetido à erosão das ondas e das correntes de deriva litorânea. Apesar de ser possível no futuro uma modificação desta posição após a ocorrência de alguma nova cheia excepcional, esta é uma tendência que vem se mantendo (e se acentuou) mesmo com a ocorrência de cheias nos anos de 2004, 2005 e 2007 (Fontes, 2009).



**Figura VIII.8.** Síntese das mudanças na posição do prolongamento subaquoso do canal fluvial, de NW-SE para NE-SW, entre 1981 e 2010. Fonte: Fontes (2009).

Após milhares de anos de evolução durante o Holoceno, marcados por uma progradação ativa, o delta do rio São Francisco tornou-se praticamente inativo na última década devido ao déficit no suprimento de sedimentos à foz.

A sua fase atual pode ser considerada como o início de um estágio destrutivo do delta, acompanhada de mudança da desembocadura para o tipo defletido (Fontes et al. 2008). A inflexão do canal no sentido da deriva litorânea é um fato

que já foi observado em outros grandes rios. Tanto ocorre em situações naturais quanto como alteração provocada por regularizações de vazões impostas pelo homem (Fontes, 2009).

#### **VIII.4.5. Relações entre mudanças no regime fluvial e alterações na zona costeira**

As modificações na linha de costa, posição da foz e na posição e morfologia da barra de desembocadura aconteceram diversas vezes ao longo da história evolutiva do delta. Na fase mais recente da evolução estas mudanças também vêm ocorrendo, induzidas pela dinâmica costeira e pela interação com o regime fluvial.

Estes episódios foram confrontados por Fontes et al (2010), com as variações de outros parâmetros (série histórica de vazões, aporte de carga sedimentar) para permitir uma melhor compreensão do papel exercido pelas grandes barragens nas mudanças em curso. Nos tempos históricos dispõe-se de dados de vazões fluviais que permitem identificar os períodos hidrológicos e comparar com as respostas a estas alterações na zona costeira. O conhecimento sobre estas inter-relações no contexto de um rio funcionando no seu regime natural permite uma melhor compreensão da interação rio-mar no contexto de rio controlado pelo homem.

Fontes (2009) e Fontes e Bitencurti (2010) verificaram a existência de correlação entre as mudanças nos aportes fluviais e a mudança na região costeira, (Tabela VIII.9), destacando que as modificações pós-barragens não promoveram apenas as alterações nas vazões, mas também, e principalmente, a drástica diminuição na descarga sólida aportada ao oceano. Para a análise da interação rio-mar nas condições atuais, é fundamental destacar que o novo direcionamento dos aportes fluviais do rio São Francisco, apesar de reduzidos em cerca de 96% em relação à situação natural, significa o abandono, por parte dos

aportes fluviais, de toda a porção norte da Província Lamosa, que passa unicamente a ser palco da atuação dos processos costeiros e marinhos.

**Tabela VIII.7.** Correlação entre mudanças no regime hidrológico fluvial e mudanças na região da foz do rio São Francisco. Fonte: Fontes (2009) e Fontes e Bitencurti. (2010).

FASES LINHA PRAIA	PERÍODOS HIDROLÓGICOS	Comportamento das vazões	Influência da operação das grandes barragens
1956-1979 ESTÁVEL →	1957 – 1969 Período Intermediário	Médias anuais - 2.500 a 3.200 m <sup>2</sup> /s	1963 – início operação UHE Três Marias – Regime natural no baixo São Francisco
	1970 – 1978 Período SECO	Baixas médias anuais - 1.800 a 2500 m <sup>2</sup> /s 1977-78 - ausência de cheias	
1979-1988 PROGRADAÇÃO →	1979 – 1986 Período UMIDO	Médias anuais elevadas - 3.000 a 4.200 m <sup>2</sup> /s Grandes cheias	1978 - Início regularização parcial - Barragem Sobradinho
1988-2001 RETRAÇÃO →	1987 – 1990 SECO	Médias anuais baixas - 1.800 m <sup>3</sup> /s	Início regularização vazões geradas no submédio e ampliação retenção sedimentos – Barragem Itaparica
	1992 – 1994 INTERMEDIÁRIO ÚMIDO	Ocorrência de 2 cheias	
	1995 – 2000 SECO	Médias anuais – 2.000 m <sup>3</sup> /s Ausência de cheias	1994 – início operação UHE Xingó – ampliação regularização e da diminuição aportes sedimentos
2001-2010 RETRAÇÃO E MIGRAÇÃO FOZ	2002 – 2010 INTERMEDIÁRIO	Ocorrência de 3 pequenas cheias	

Esta nova situação, ressalvada a possibilidade de futura ampliação dos aportes fluviais com a retomada, não prevista, das vazões de cheias, gera consequências na dinâmica dos processos de erosão e sedimentação plataforma continental, afetando a maior parte da Província Lamosa.

## VIII.4.6. Mudanças nos processos de dispersão e no balanço dos sedimentos na plataforma continental

A dispersão dos sedimentos finos e grosseiros aportados pelos rios na plataforma continental durante o período histórico é controlada pelas condições gerais reinantes nesta região, mas ao mesmo tempo, respondem as modificações na interação rio-mar, analisadas nos itens anteriores.

Entre os processos costeiros de transporte de sedimentos destaca-se a deriva litorânea, que neste setor atua predominantemente no sentido norte-sul. É na plataforma interna que dominam os processos associados à interação entre as ondas e a linha de costa. É nesta zona da plataforma que acontece o principal trânsito de sedimentos arenosos, ao longo da linha de costa. Os maiores percentuais de areia aparecem mais freqüentemente em profundidades menores que 10 metros, provavelmente relacionado à maior energia hidrodinâmica do local.

Na plataforma sul de Alagoas, divisa com o Estado de Sergipe, o transporte de sedimentos arenosos é barrado pelo efeito molhe hidráulico criado pelo efluente fluvial (prolongamento do rio São Francisco). O acúmulo de sedimentos arenosos a norte da desembocadura fluvial cria um excedente que é levado à praia que é posteriormente retirado pelos ventos. Este transporte e deposição eólica na zona costeira formaram e alimentam o campo de dunas de Pontal do Peba.

Os sedimentos arenosos e parte dos sedimentos lamosos aportados pelo rio São Francisco são transportados para sul na plataforma interna, onde são retrabalhados pela ação das ondas e das correntes geradas por ondas. Os sedimentos oriundos do rio São Francisco é que abastecem as praias e zonas estuarinas ao longo da costa norte do Estado de Sergipe, sendo acrescidos, embora em menor proporção, dos sedimentos aportados pelos demais rios que chegam à linha de costa. No passado, outra fonte importante de sedimentos

grosseiros, foi resultado da erosão do alto de Ponta dos Mangues, constituído por sedimentos de idade Terciária do Grupo Barreiras.

Na desembocadura do rio São Francisco ocorre à deposição das areias aportadas pelo transporte fluvial levando à formação de uma barra de desembocadura, em forma de semicírculo convexo, constituindo a parte proximal da frente deltaica. A quase totalidade dos sedimentos arenosos aportados pelo rio fica depositada nesta barra arenosa que avança até uma profundidade próxima a 10 metros. A areia fina e a lama seguem adiante, se dispersando na plataforma continental, onde se depositam e formam a ampla zona lamosa do prodelta. Partes destes sedimentos são conduzidos para o cânion submarino e transportados para o sopé do talude continental. Uma parte deste transporte ocorre em períodos posteriores através de fluxos gravitacionais no cânion e no talude continental.

As linhas de costa a barlamar (sul de Alagoas) e a sotamar (norte de Sergipe) da foz do rio São Francisco apresentam diferenças no padrão de dispersão e no suprimento de sedimentos (Dominguez, 1996; Bhattacharya e Giosan, 2003). Na situação natural, em relação ao suprimento de sedimentos, a linha de costa a barlamar é dominada por uma deriva litorânea de NE-SW, a qual é retida na foz do rio São Francisco pelo “efeito molhe”, enquanto na linha de costa a sotamar o sedimento é basicamente suprido pelo rio. Após a regularização do rio, e, em especial após 1998, diminuiu drasticamente o efeito molhe exercido pelas águas doces do rio São Francisco que penetravam no corpo marinho. A deriva litorânea, apesar de atenuada na região da foz do rio, segue para sul, promovendo a erosão costeira, mas a retirada deste material não é mais compensado pela reposição de sedimentos oriundos do continente, principalmente aqueles aportados durante as cheias fluviais.

O balanço de sedimentos nesta região da plataforma também foi afetado pelas mudanças nos aportes fluviais. Um modelo conceitual simplificado do balanço de sedimentos existente na plataforma atual no sul de Alagoas e norte de Sergipe foi apresentado por Fontes (2009) incluindo o suprimento sedimentar e as saídas de sedimentos nesta região.

Com resultados das mudanças pelas quais vem passando o rio São Francisco, o rio não está mais fornecendo sedimento para o setor norte da zona lamosa plataforma (plataforma sul de Alagoas). O aporte de sedimentos agora ocorre direcionado para o setor sul, apesar de que, por ocasião das raras cheias, ainda seja possível aportar sedimentos para o setor norte. Mas estas cheias não têm mais a frequência, magnitude e a duração das anteriores. Também isso vem paulatinamente ocorrendo em relação ao setor em frente à foz atual, o que pode estar afetando o fornecimento de sedimentos para o cânion submarino.

#### **VIII.4.7. Mudanças na pluma de sedimentos em suspensão fluvial na plataforma**

Comumente as areias aportadas pelos rios se concentram na plataforma interna, próximo da foz e o silte a argila são transportados em plumas que se deslocam alguns quilômetros mar adentro.

A extensão, forma e dinâmica de uma pluma são determinadas pela interação entre diversos fatores, tais como a magnitude e a pulsação do aporte fluvial, a variabilidade do vento, da maré, das ondas, da batimetria e das correntes costeiras e oceânicas, como também, da força de Coriolis que, associada ao cisalhamento do vento, pode gerar o transporte de Ekman e influenciar a dinâmica costeira (Garvine, 1987 e 1995).

Embora alguns destes fatores tenham sido analisados para o aporte de sedimentos em suspensão pelo rio São Francisco, ainda há escassez de informações sobre outros fatores e metodologias correlacionadas à oceanografia física que possam aprofundar o entendimento do funcionamento das plumas costeiras na região. Deve-se destacar, que com exceção as plumas dos rios Amazonas e Paraná, somente um estudo abordou as plumas costeiras dos demais rios do Brasil (LORENZZETTI *et al.* 2007; OLIVEIRA 2009).

Medeiros (2003), Knoppers *et al.* (2006), Medeiros *et al.* (2007) e Oliveira (2009) focalizaram os seus estudos na pluma costeira do rio São Francisco acoplando medições *In Situ* de matéria em suspensão e de radiometria com imagens de satélite para o desenvolvimento de algoritmos adequados para a calibração dos sensores do satélite e a quantificação dos padrões de dispersão de materiais pelas plumas costeiras

As condições de contorno geradas pelo impacto de barragens do rio São Francisco junto com os forçantes oceanográficos e climáticos que atualmente determinam a magnitude, pulsação e extensão das plumas costeiras de turbidez e, assim, o transporte e a dispersão de matéria sobre a plataforma continental (Knoppers *et al.* 2006; MEDEIROS *et al.*, 2007) são:

- A redução em 42 %, 95 % e 94 % do aporte fluvial de água, matéria em suspensão e nutrientes (NID e PID), respectivamente, à zona costeira,
- A perda do padrão sazonal unimodal da vazão e a diminuição da migração da zona de mistura estuarina, e,
- A presença da lavagem e diluição das águas costeiras e da plataforma continental pela Corrente Sul Equatorial oligotrófica.

Desta forma, a extensão e o potencial de dispersão de materiais através da pluma costeira foi altamente reduzida pelo impacto antrópico continental e os fatores oceanográficos e climáticos tornaram-se de modo relativos mais dominantes. Embora, a pluma de turbidez do rio São Francisco ainda opera sobre a plataforma continental, surge à questão da origem das fontes adicionais de matéria em suspensão que sustentam parcialmente a pluma de turbidez.

Estudos de Medeiros (2003), Dominguez (1996), Fontes (2002), Knoppers *et al.* (2006) e Medeiros *et al.* (2007) e Fontes e Bitencurti (2010) revelaram que a erosão costeira, inclusive das falésias da Formação Barreiras do Terciário, como também, processos de ressuspensão de materiais dos depósitos sedimentares afora do pro-delta do rio São Francisco, contribuem com matéria em suspensão para a pluma.

## VIII.4.8. Datação dos sedimentos lamosos plataformais superficiais

A ampla zona de sedimentos lamosos superficiais associados à foz rio São Francisco foi estudada com o objetivo de analisar a evolução recente da sedimentação, de forma a permitir a correlação com as mudanças recentes nos aportes fluviais do São Francisco.

O registro sedimentar dos estágios mais recentes da sedimentação desta região plataformal foi analisado através de testemunhos rasos (T15-7, T21-2, T23-5, T27-3, T37-9 e T39-4) coletados na primeira campanha do projeto Águas Rasas – Geologia (Figura VIII.9).

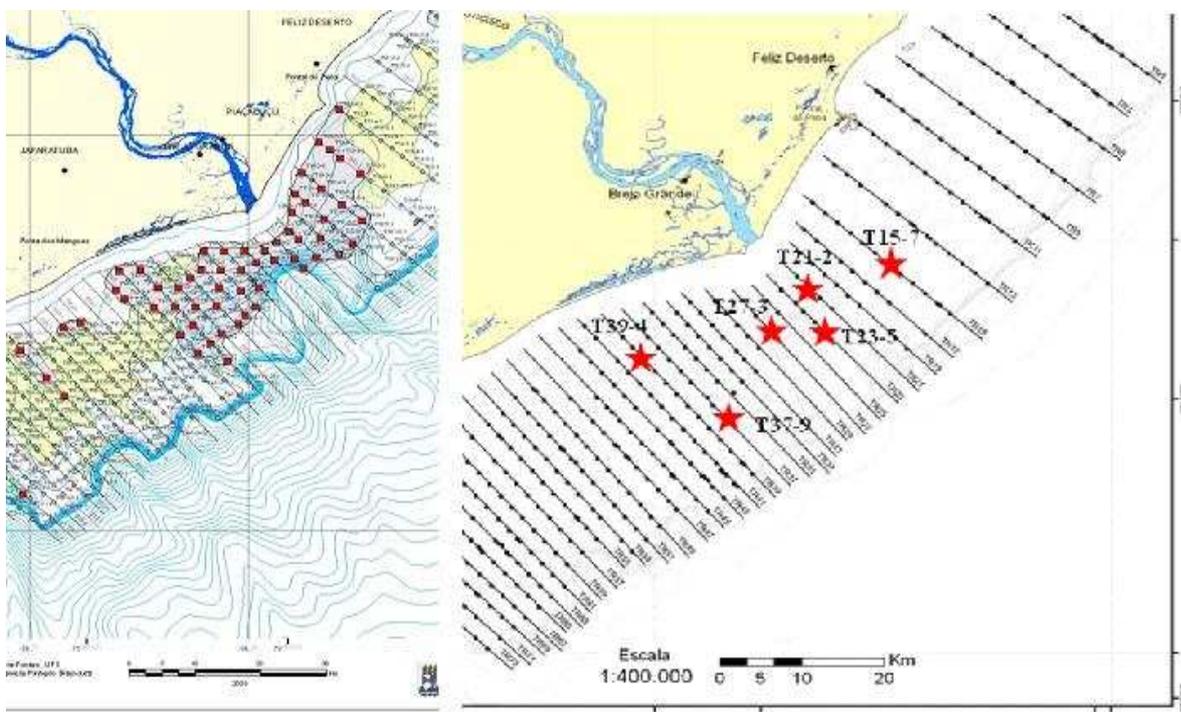
Apenas dois testemunhos se encontravam dentro do limite de datação por C14 (testemunho T27-3 e amostra de afloramento ICRM-05), apresentando idades convencionais de 560 e 90 anos BP, respectivamente. As demais 4 amostras forneceram idades muito recentes e foram fornecidos resultados em unidades pMC.

A unidade pMC significa “porcentagem de carbono moderno” e os resultados são fornecidos em formato pMC quando existe mais C14 que o nível de referência moderno (1950 AD). A fonte para este C14 “extra” na atmosfera são os testes com a bomba atômica termo-nuclear que tiveram início em 1950. A sua presença geralmente indica que o material analisado faz parte de um sistema que tem respirado carbono atmosférico após o início dos testes nucleares (após os anos 1950 AD). Uma pequena parcela do C14 proveniente destes testes nucleares se incorporou a estes sedimentos de fundo da plataforma continental de Sergipe-Alagoas, indicando uma deposição após os anos 1950.

As datações recentes obtidas nos testemunhos dispostos nos limites da Província Lamosa (T3-2, T15-7, T23-5 e T37-9) indicam que os aporte fluviais do rio São Francisco permaneceram ativos no final século XX. É, portanto, uma zona de sedimentação ativa e as mudanças que ocorreram nestas últimas décadas

devem ser correlacionadas com as mudanças que ocorreram no regime hidro-sedimentológico do rio e da posição da desembocadura fluvial.

Um único testemunho (T27-3) apresenta idade mais avançada de deposição, ou seja, 560 +/- 40 anos AP. Este testemunho tem a peculiaridade de estar situado nas cabeceiras do cânion submarino e é possível que neste local estejam ocorrendo fluxos gravitacionais nas bordas do cânion e que podem estar retirando os sedimentos mais superficiais (e mais recentes), expondo os sedimentos mais antigos.



**Figura VIII.9.** Localização das amostras superficiais analisadas com granulômetro a laser (ESQUERDA) e dos testemunhos rasos estudados (DIREITA) na Província Lamosa Terrígena do rio São Francisco.

### VIII.4.9. Mudanças atuais e futuras na interação rio-mar em Sergipe e Alagoas

Dois fatos chamam a atenção, em uma análise comparativa entre as províncias lamosas do rio São Francisco e do rio Japarutuba: a do São Francisco até muito recentemente era uma zona de sedimentação ativa, com registro de suprimento de sedimentos de origem fluvial/continental, em toda sua extensão, nos últimos 60 anos, enquanto que a do Japarutuba registra uma taxa de sedimentação decrescente, com os sedimentos dos 30 cm superficiais sendo depositados nos últimos 2.000 anos. Este fato indica que a província lamosa do Japarutuba subsiste na plataforma continental como uma zona de sedimentação relíquia, não recebendo aportes continentais/fluviais significativas há, pelo menos 1.000 anos.

É provável que o modelo do trato de sistemas deposicionais também apresente diferenças significativas durante a evolução da sedimentação Holocênica. Enquanto o São Francisco construiu um edifício deltaico influenciado por ondas, que se modificou de uma morfologia lobada para em cúspide, assumindo uma morfologia que passou de simétrica para assimétrica, o Japarutuba seguiu outro modelo evolutivo deposicional.

As fases evolutivas mais recentes do contexto Japarutuba caracterizam um sistema fluvial pouco expressivo, sem desenvolvimento de um delta e com forte domínio da sedimentação costeira, na qual o rio exerceu um papel pouco relevante. Entretanto, nas fases evolutivas anteriores, pouco ou não registradas em superfície, ocorreu o desenvolvimento de um paleo sistema fluvial bastante expressivo, capaz de gerar a Província Lamosa na plataforma, escavar o cânion submarino e seu prolongamento em águas profundas. Não está ainda devidamente esclarecido qual o modelo deposicional deste trato de sistemas deposicionais fluvial-costeiro-plataforma e marinho profundo, o que deve ser objeto de investigação posterior, mas é bastante provável que a deposição na

zona costeira não seja do tipo delta influenciado por ondas. Eventualmente pode ter sido formado um leque deltaico.

A conclusão relevante, em relação ao ambiente marinho atual é que a Província Lamosa do Japarutuba subsiste na plataforma como uma relíquia de um contexto deposicional que não mais existe e que, portanto, não é mais alimentada pelos aportes fluviais. Este contexto anterior deve ter existido em função do forte atuação da neotectônica, nas fases iniciais do desenvolvimento deste contexto morfo-sedimentar e que promoveu a configuração atual da morfologia da linha de costa de Sergipe-Alagoas.

A Província Lamosa associada ao rio São Francisco, ao contrário, foi alimentada durante o Holoceno recente pelos aportes fluviais, sendo considerada uma zona de sedimentação bastante ativa até o final do século XX. É provável que a grande diferença evolutiva entre o Japarutuba e o São Francisco, isto é, enquanto o primeiro foi sendo progressivamente desativado, o segundo prosseguiu aportando grandes quantidades de água e sedimentos à plataforma, tenha sido gerada pela captura, à montante, do sistema fluvial proveniente de Minas Gerais. Esta evolução, se confirmada, explicaria a forte inflexão do rio São Francisco no seu médio curso, cujo trajeto muda bruscamente de S-N para W-E, no interior da Bahia.

Entretanto, as modificações introduzidas pelo homem ao longo do curso do rio, com a construção da cascata de grandes barragens, têm se traduzindo na progressiva desativação deste rio como provedor de sedimentos para a plataforma continental.

Diante deste novo contexto, é provável que a Província Lamosa do rio São Francisco esteja entrando no mesmo estágio da Província Lamosa do rio Japarutuba, após a desconexão com os aportes fluviais, isto é, esteja também se transformando em uma zona sedimentar relíquia, em grande parte desconectada do suprimento fluvial que a construiu. Não se pode entretanto, descartar a possibilidade de mudanças na gestão das águas do rio São Francisco e no sistema de operação das barragens e respectivos reservatórios, como resultado de um pacto em torno das vazões ambientais (ecológicas) no baixo curso do rio

São Francisco, o que poderia significar o retorno das cheias, embora com menor intensidade e duração.

Com exceção da região do entorno da foz, esta província lamosa está atualmente submetida à ação dos processos costeiros e marinhos dominantes na plataforma continental, entre os quais se inclui a remobilização de sedimentos no sentido norte-sul, com a erosão e redeposição dos sedimentos lamosos superficiais, e exposição dos intervalos subjacentes, não existindo mais a reposição de sedimentos oriundos dos aportes fluviais do rio São Francisco. Este novo contexto provavelmente deverá também se refletir na evolução do cânion submarino.

A não reposição anual de sedimentos e nutrientes na Província Lamosa do rio São Francisco poderá também induzir mudanças na geoquímica dos sedimentos superficiais e na biota, afetando a ecologia submarina e, em consequência, a pesca de peixes e crustáceos.

## IX. BIBLIOGRAFIA

ANA 2010. **Agencia Nacional de Águas**. Disponível em: <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)> Acesso em 15 de março.

ANDRIOTTI, J. L. S. 2005. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. Editora UNISINOS, 2 ed. 165p.

ANEEL. 2000. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em <[www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)> Acesso em.20 de junho.

ANP. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em dez 2009.

ASMUS, H. E. 1982. **Geotectonic significance of Mesozoic-Cenozoic magmatic rocks in the Brazilian continental margin and adjoining emerged area**. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO GEOL., 5, Buenos Aires, 1982. Actas... Buenos Aires: Servido Geológico Nacional, v.3, p.761-779.

ASMUS, H. E. 1984. **Geologia da Margem Continental Brasileira**. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G. R.; ASMUS, H. E. coords. Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Brasília: DNPM. p. 443-472.

ASMUS, H. E.; FERRARI, A. L. 1978. **Hipótese sobre a causa do tectonismo Cenozóico na região Sudeste do Brasil**. In: Aspectos Estruturais da Margem Continental Leste e Sudeste do Brasil, Rio de Janeiro: PETROBRÁS, pp. 75-88.

ASMUS, H. E.; PORTO, R. 1980. **Diferenciação nos estágios iniciais da evolução da margem continental brasileira: possíveis causas e implicações**. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Camboriú, Anais, 1: 225-233.

AUBREY, D. G., EMERY, K.O., UCHUPI, E., 1988. **Changing coastal levels of South America and the Caribbean region from tide gauge records**. Tectonophysics 154: 269.

BARRETO, H. T., MILLIMAN, J. D. 1969. **Esboço Fisiográfico da Margem Continental Brasileira**. In: TOFOLI, L. C. Margem Continental Brasileira. Rio de Janeiro: PETROBRAS. DEXPRO. P. 11-30. Coletânea de Trabalhos.

BERNARDES, L.M.C. 1951. **Notas sobre o clima da bacia do rio São Francisco**. Revista Brasileira de Geografia 13 (3): 473-489

BESSA, M. B.; PAREDES, J. F. 1990. **Transporte de carbono e do nitrogênio orgânico e dissolvido pelo rio São Francisco, Brasil, durante um ano hidrológico (1984-1985)**. Geochimica Brasiliensis 4 (1):17-31.

BHATTACHARYA, J.; GIOSAN, L., 2003. **Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction**, *Sedimentology*, 50: 187–210.

BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FONTES, L. C. S.; SOUSA, D. L.; SILVA, I. R.; SILVA, F. R. 2007. **Wave refraction, river damming, and episodes of severe shoreline erosion: the São Francisco river mouth, northeastern Brazil**. Journal of Coastal Research, 23 (4): 930-938.

BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FERREIRA, Y. A. 1983. **Evolução paleogeográfica Quaternária da costa do Estado de Sergipe e da costa sul do Estado de Alagoas**. Rev. Bras. Geociênc. 13 (2), 93–97.

BOYLE, R. V. 1969. **Elements association in mineral deposits an indicator elements in geochemical prospecting**. Geological Survey of Canada paper, pp: 68-58

BRIGGS, R. P. 1977. **Environmental geology, Allegheny County and vicinity, Pennsylvania - Description of a program and its results**: U.S. Geological Survey Circular 747, 25 p.

CAINELLI, C. 1992. **Sequence stratigraphy, canyons, and gravity mass flow deposits in the Piaçabuçu Formation, Sergipe-Alagoas Basin, Brazil**. 233p. Ph.D Dissertation, The University of Texas at Austin, U.S.A.

CAMPOS NETO O. P., SOUZA LIMA W., CRUZ F. E. G. 2007. Bacia de Sergipe-Alagoas. **Boletim de Geociências da Petrobras (Cartas Estratigráficas)**, 15 (2): 405-415.

CHANG, H. K. ; KOWASMANN, R. O. ; FIGUEIREDO, A. M. F. 1990. **Novos conceitos sobre o desenvolvimento das bacias marginais do leste brasileiro**. In: Petrobrás/Censud. (Org.). Novos conceitos sobre o desenvolvimento das bacias marginais do leste brasileiro. Rio de Janeiro: SINTEP, v. -, p. 269-289.

CHAVES H. A. F. 1979. (Ed.). **Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes**. Série Projeto REMAC, 7: 89-114. PETROBRAS, DNPM, CPRM, DHN, CNPq.

CHAVES, H. A. F.; ZEMBRUSCKI, S. G.; FRANÇA, A. M. C. 1979. **Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes**. Relatório final. 177p. Projeto REMAC.

COLEMAN, J. M. & WRIGHT, L. D., 1975. **Modern riverdeltas: Variability of processes and sand bodies**. In: Broussard, M.L. (editor): *Deltas Models for exploration*. Houston Geol. Soc., Texas, p.99-149.

COLEMAN, J. M.; WRIGHT, L. D. 1972. **Delta morphology in relation to the discharge/wave power climate**. Anais XXVI Congresso Bras. Geologia, Belém, PA, p.145-155.

COUTINHO, P. N. 1981. **Sedimentação na plataforma continental Alagoas – Sergipe**. Fortaleza, CE, Arq.Ciê. Mar, v. 21(1/2), p 1-18.

COUTINHO, P. N. 1995. **Sedimentos carbonáticos da plataforma continental brasileira**. Revista Geologia, Fortaleza. 65-73.

COUTINHO, P. N., 1970. **Preliminary investigations of the sediments between Cabo Frio and São Sebastião Island (Brazil)**. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, 9/11:51-66.

COUTINHO, P. N., 1976. **Geologia Marinha da Plataforma Continental Alagoas - Sergipe**. Tese de Livre Docência, UFPE, Recife 120 p.

COUTINHO, P. N.; KEMPF, M., 1972. **Plataforma continental do norte, nordeste e leste do Brasil: amostras de fundo coletadas pelo Noc Alte Saldanha em 1968**. Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, 236-244p.

COUTINHO, P.N. 1996. **Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil**. Programa REVIZEE. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Renováveis e da Amazônia Legal. 76p.

CURRAY, J.R.; EMMEL, F.J., AND CRAMPTON, P.J.S., 1969. **Holocene history of strandplain lagoonal coasts, Nayarit Mexico**. In: CASTANARES, A.A., PHLEGER, F.B. (eds.), *Coastal Lagoons, a Symposium*. Universidad Nacional Autonoma, Mexico, pp. 63-100

DIAS, G. T. M., 2000. Granulados Bioclásticos – algas calcárias. **Revista Brasileira de Geofísica**. Vol. 18 (3), p. 307-318.

DOMINGUEZ, J. M. L. 2004. **The coastal zone of Brazil: an overview.** Journal of Coastal Research, SI 39, 16-20.

DOMINGUEZ, J.M.L. 1993. **As coberturas do Cráton do São Francisco: uma abordagem do ponto de vista da análise de bacias.** In: DOMINGUEZ, J.M.L. & MISI, A. eds. O Cráton do São Francisco. Salvador, SBG. p. 137-159.

DOMINGUEZ, J.M.L. 1996. **The São Francisco strand plain: a paradigm for wave dominated deltas?** In: Geology of Siliclastic Shelf Seas. De Batist, M.; Jacobs, P. (eds). Geology Society, London, Special Publication 117: 217- 234

EKAU, W.; KNOPPERS, B. 1999. **An introduction to the pelagic system of the North-east and East Brazilian shelf.** Archive of Fishery and Marine Research 47 (2/3): 113-132.

EKAU, W.; KNOPPERS. B. 1996. **Sedimentation processes and productivity in the continental shelf waters off East and Northeast Brazil.** Joint Oceanographic Projects-JOPS II. Cruise Report and First results. Center for Tropical Marine Ecology, Bremen, Germany. 151 pp.

FOLK, R.L. WARD W. C, 1957. **Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters.** Journal of Sedimentary Petrology 27: 3–26,.

FONTES, A. L.; CORREIA, A. L. F.; ARAÚJO, H. M de; COSTA, J. J. 2010. **A bacia costeira do rio Vaza Barris: condicionantes geoambientais e morfodinâmica das praias oceânicas adjacentes.** VI SLAGF, II SIAGF. Universidade de Coimbra, Portugal.

FONTES, A. L.; CORREIA, A. L. F.; COSTA, J. J. 2008. **Condicionantes geoambientais como delimitadores na implantação do aterro sanitário da Região Metropolitana de Aracaju – município de Nossa Senhora do Socorro (SE).** Geografia: Ensino e Pesquisa, Santa Maria: v.12, n.2, p. 67-74,.

FONTES, L. C. S. 2002. **Erosão Marginal no Baixo Curso do Rio São Francisco: Um Estudo de Caso de Impactos Geomorfológicos à Jusante de Grandes Barragens.** Dissertação de mestrado. Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Aracaju: NESA/PRODEMA/Universidade Federal de Sergipe.

FONTES, L. C. S. 2009. **Estilos de sedimentação e evolução do delta do Rio São Francisco.** Universidade Federal de Sergipe.

FONTES, L. C. S. e LATRUBESSE, E. E. 2009. **Geomorphologic compartmentation and mophodynamics spatial adjustments in low São Francisco river: a case study of big dams impacts.** River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Santa Fé, Argentina.

FONTES, L. C. S.; BITENCURTI, D. P. 2010. **Evolução histórica da desembocadura do rio São Francisco e mudanças na morfologia e erosão costeira após a construção das grandes barragens,** 45º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém-PA.

FONTES, L. C. S.; BITENCURTI, D. P.; PASSOS, D. R. P., FONTES, M. P. 2008. **Evolução histórica vs. Mudanças recentes das feições emersas e submersas da desembocadura do rio São Francisco: uso do geoprocessamento na avaliação de impactos de grandes barragens.** In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto; Geonordeste: geotecnologias e meio ambiente. Aracaju-SE.

FRANÇA, A. M. C. 1979. **Geomorfologia da margem continental leste brasileira e das bacias oceânica adjacentes.** In: CHAVES HAF (Ed.). Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes. Série Projeto REMAC, 7: 89-114. PETROBRAS, DNPM, CPRM, DHN, CNPq.

FRANÇA, A. M. C., MILLIMAN, J. D.; SUMMERHAYES, C. P., 1975. **Atlas of bathymetry, shallow structure and magnetics on the Brazilian continental shelf and upper slope** (no prelo).

FRANÇA, A. M. C.; COUTINHO, P. N.; SUMMERHAYES, C. P. 1976. **Sedimentos superficiais da Margem Continental Nordeste Brasileira.** Revista Brasileira de Geociências, v.6 p. 71-88.

FREIRE, G. S. S.; GOMES, D. F.; LIMA, S. F.; MAIA, L. P.; LACERDA, L. D. 2004. **Geochemistry of continental shelf sediments of the Ceará coast, North-Esaten Brazil.** P.365 -378. Chapter 26. In: Environmental Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments. LACERDA, L.D.; SANTELLI, R.E.; DUURSMA, E.K.; ABRÃO, J.J. EDS. SPRINGER VERLAG, BERLIN.

GALLOWAY, W. E., 1975. **Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic deposicional systems.** In Broussard, M.L. (ed.), *Deltas: Models for Exploration.* Houston, TX: Houston Geological Society, pp. 87-96

GARVINE, R. W., 1995. **A dynamical system for classifying buoyant coastal discharges.** Cont Shelf Res 15:1585-1600.

GARVINE, R.W., 1987. **Estuary plumes and fronts in shelf waters: a layer model.** Journal of Physical Oceanography 17:1877-1896.

GUAZELLI, W.; CARVALHO, J. C. 1981. **Estrutura da margem continental leste brasileira e das áreas continentais e oceânicas adjacentes.** In: PROJETO REMAC. Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste do Brasil. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/CENPES/ DINTEP. (Série Projeto REMAC 9).

HAY, W. W. 1998. **Detrital sediment fluxes from continents to oceans.** Chemical Geology 145:287-323.

JENNERJAHN, T. C.; ITTEKKOT, V. 1997. **Organic matter in sediments in mangrove areas and adjacent continental margins of Brazil: I. Amino acids and hexosamines.** Oceanol Acta 20: 359-369.

JENNERJAHN, T. C.; ITTEKKOT, V. 2002. **Relevance of mangroves for the production and deposition of organic matter along tropical continental margins.** Naturwissenschaften 89:23-30.

JENNERJAHN, T.; KNOPPERS, B., SOUZA, W.F.L.; CARVALHO, C.; MOLLENHAUER, G.; HÜBNER, M. E ITTEKKOT, V. 2010. **Factors controlling the production and accumulation of organic matter along the Brazilian continental margin between the equator and 22°S.** Chapter 8.In: Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins: A Global Synthesis. Liu, K.K.; Quinones, R.; Talaue-McManus, L. e Atkinson, L. (Eds). Springer Verlag, New York.

JENNERJAHN, T.C.; ITTEKKOT, V; CARVALHO, C.E.V.; OVALLE, A.R.; REZENDE, C.E.; ERLLENKEUSER, H. 1999. **Temporal variability of amino acid, hexosamine and carbohydrate fluxes to the eastern Brazilian continental margin related to the discharge of the São Francisco River, Brazil.** Geo-Marine Letters 19: 202-208.

KEMPF, M. 1972. **Shelf of Alagoas and Sergipe (northeastern Brazil). 2: Geology. Station list and notes on benthic bionomy.** Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco. 13:7-28.

KNOPPERS, B.; EKAU, W.; FIGUEIREDO, A. 1999. **The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport.** Geo-Marine Letters, Berlim, v. 19, n. 3, p. 171-178,.

KNOPPERS, B.; MEDEIROS, P. R. P. (D); SOUZA, W. F. L.; JENNERJAHN, T. 2006. **The São Francisco Estuary, Brazil.** Pp.55-78. In: Handbook of Environmental Chemistry. Vol.5. Water Pollution: Estuaries. Wangersky, P. Ed. Springer Verlag, Berlin.

KNOPPERS, B.; SOUZA, W. F. L.; EKAU, W.; FIGUEIREDO, A. G.; SOARES-GOMES, A. 2009. **A Interface Terra-Mar do Brasil**. In: Pereira, R.C. e Soares-Gomes, A.. (Org.). *Biologia Marinha*. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, p. 529-553.

KOWSMANN, R. O.; COSTA, M. P. A. 1979. **Sedimentação Quaternária na margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes**. Série Projeto REMAC 8. PETROBRÁS/DNPM/CPRM DHN/CNPq. Rio de Janeiro-RJ.

KUENEN, P. H. 1953. **Significant features of graded bedding**. Bull Am. Assoc. Petrol. Geologists. 37, 1044-1066.

LORENZZETTI, J. A.; OLIVEIRA, E. N.; KNOPPERS, B.; MEDEIROS, P. R. P. 2007. **Uso de imagens LANDSAT como subsídio ao estudo da dispersão de sedimentos na região da foz do rio São Francisco**. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Resumo Expandido. P.3429-3436.

LORING, D. H.; RANTALA, R. T. T., 1992. **Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter**. Earth-Science Reviews, 32: 2350283, and 1995, Regional Seas, Reference methods for marine pollution studies no. 63, United Nations Environment Programme.

MABESOONE, J. M.; COUTINHO, P. N. 1970. **Littoral and shallow marine geology of northern and northeastern Brazil**. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco. (12):1-214.

MABESOONE, J. M.; TINOCO, I. M. 1967. **Shelf off Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil). 2 - Geology**. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, (7/8):151-186,.

MABESSOONE, J. M.; CAMPOS E SILVA, A.; BEURLLEN, K. 1972. **Estratigrafia e Origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte**. Revista Brasileira de Geociências, v. 2, n. 3, p. 173-178.

MARINONI, L.; MIRANDA, G. F. G.; THOMPSON, F. C. 2000. **Abundância e riqueza de espécies de Syrphidae (Diptera) em áreas de borda e interior de floresta no Parque Estadual de Vila Velha, Ponta Grossa, Paraná, Brasil**. Revista Brasileira de Entomologia, v.48, n.4, p. 553-559.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M. 1986. **Shell middens as source for additional information in Holocene Shoreline and sea level reconstruction: examples from coast of Brazil**. In: Plassche, O.v.d. (Ed.), *Sea-level Research: A Manual for the Collection and Evaluation of Data*. Geo Books, Norwich, p. 618.

MARTINS, L. R., MELO, S., FRANÇA, A. M; SANTANA, C. I.; MARTINS, I. R. 1972. **Distribuição Faciológica da Margem Continental Sul Riograndense**. Congresso Brasileiro de Geologia, 26<sup>o</sup>, Anais,v.2:115-132.Belém .Brasil.

MARTINS, L. R.; COUTINHO, P. N. 1981. **The Brazilian Continental Margin**. Earth Science Reviews 17: 87-107.

MAZZINI, P. L. F., SCHETTINI, C. A. F. 2009. **Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos**. Braz. J. Aquat. Sci. Technol., 2009, 13(1):53-64.

MEDEIROS, P. R. P. 2003. **Aporte fluvial, transformação e dispersão da matéria em suspensão e nutrientes no estuário do Rio São Francisco, após a construção da Usina Hidroelétrica do Xingó (AL/SE)**. Tese de Doutorado, Depto. de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, 184 p.

MEDEIROS, P. R. P.; KNOPPERS, B.; SANTOS, R. C.; SOUZA, W. F. L. 2007. **Discharge and dispersion of suspended matter in the coastal zone of the São Francisco River estuary (SE/AL-Brazil)**. Geochimical Brasiliensis 21 (2):209-228.

MEDEIROS, P. R. P.; KNOPPERS, B.; SOUZA, W. F. L.; CAVALCANTE, G. H. 2011. **Aporte de material em suspensão no baixo Rio São Francisco (SE/AL), em diferentes condições hidrológicas**. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology.

MILLIMAN J. D.; SUMMERHAYES C. P.; BARRETO, H. T., 1975. **Quaternary sedimentation on the Amazon continental margin: model**. Geol. Soc. America Bull., (86) 610-614.

MILLIMAN, J. D.; SYVITSKI, J. P. M., 1992. **Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: The importance of small mountainous rivers**. Journal of Geology 164: 23-45.

Muehe, D. e Neves, C.N. 1995. The implications of Sea-Level Rise on the Brazilian coast: A preliminary assessment. J. of Coastal Research (SI) 14:54-78

MÜLLER, G.; IRION, G.; MORAIS, J. O.; TINTELNOT, M. 1999. **Heavy metal concentrations in fine grained sediments in the lower coarse of Brazilian Rivers between the Piauí and Espírito Santo**. Proc. 3<sup>rd</sup> International Symposium on Environmental Geochemistry in Tropical Countries. Abrão, J.J. (Ed.).Univ. Fed. Fluminense, Niterói, RJ. PP 1-4 .

NETO, I. A. B.; WALLNER-KERSANACH, M.; PACHINEELAM, S. M., 2008. **Poluição marinha**. Ed Interciência. 412p.

NEVES, E. G.; JOHNSON, R.; SAMPAIO, C. L. 2005. **An Unexpected Coral Assemblage in Submerged Reefs of the Sergipe State**. In: II Congresso Brasileiro de Oceanografia, Vitória-ES.

NEVES, S. P.; BRUGUIER, O.; VAUCHEZ, A.; BOSCH, D.; SILVA, J. M. R.; MARIANO, G., 2006. **Timing of crust formation, deposition of supracrustal sequences, and Transamazonian and Brasiliano metamorphism in the East Pernambuco belt (Borborema Province, NE Brazil): Implications for western Gondwana assembly**. Precambrian Research 149, 197-216.

OEA/GEF/SRH/ANA. 2003. **Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco**. Subprojeto 1.1.A. Estudo hidrodinâmico-sedimentológico do Baixo São Francisco, estuário e zona costeira adjacente-AL/SE. Resumo Executivo-Relatório Final. [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br) (07/2007)

OLIVEIRA, E. N., 2001. **Projeto GEF São Francisco: Programa de Ações Estratégicas para o Gerenciamento Integrado da Bacia do Rio São Francisco e de sua Zona Costeira – PAE**. Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

OLIVEIRA, E. N., 2009. **Impacto de barragens sobre a dispersão de matéria e a sustentabilidade da pluma costeira do rio São Francisco (SE/AL): análise espacial e temporal por sensoriamento remoto**. 129 pp.. Tese de Doutorado. Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense (UFF).

PACHINEELAM, S. M, SOARES, C. R., CALLIARI, L. I., 2008. **Assoreamento, Aterros e Dragagens**. In: NETO, I. A. B.; WALLNER-KERSANACH, M.; PACHINEELAM, S. M. Poluição marinha. Capítulo 12 Ed. Interciência, 2008, 335-349p.

PAES, E. T.; ALCANTARA, A. V.; GUIMARÃES, C. R. P.; ARAUJO, H. M. P.; ALVES, J. P. H., 2007. **Caracterização ecológica e oceanográfica da plataforma continental do estado de Sergipe: um ambiente costeiro equatorial sob a influência de águas sub-antárticas**. XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar - XII COLACMAR. Florianópolis-SC.

PETROBRÁS, 2007. **Estudo de Impacto Ambiental Bloco BM-SEAL-9 e Campos Camorim, Caioba, Dourado e Guaricema**. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Miguez de Mello, CENPES, da PETROBRAS, Gerência da Avaliação e Monitoramento Ambiental. Rio de Janeiro. Março de 2007, 37 pg.

PIRAZOLLI, P.A., 1986. **Secular trends of relative sea-level (RSL) changes indicated by tide-gauge records.** Journal of Coastal Research 1: 1-26

REMAC, 1979. **Geomorfologia da Margem Continental Brasileiras das áreas oceânicas adjacentes.** In: Projeto REMAC – PETROBRÁS, Rio de Janeiro, Série Projeto REMAC

RYBA, S. A.; BURGESS, R. M., 2002. **Effects of sample preparation on the measurement of organic carbon, hydrogen, nitrogen, sulfur and oxygen concentrations in marine sediments.** Chemosphere 48:139-147.

SANTOS, E. S.; KNOPPERS, B.; OLIVEIRA, E. P.; LEIPE, T.; SANTELLI, R. E., 2009. **Regional geochemical baselines for sedimentary metals of the tropical São Francisco estuary, NE-Brazil.** Marine Pollution Bulletin 58. 601–634.

SEITZINGER, S. P.; STYLES, R. M.; LAUCK, R.; MAZUREK, D. M. A., 2003. **Atmospheric pressure mass spectrometry: A new analytical chemical characterization method for dissolved organic matter in rainwater.** Environ. Sci. Technol. 37: 131–137.

SHEPARD, F. P., 1954. **Nomenclature Based on /snd-Sil-Clay Ratios.** Journal of Sedimentary Petrology, v. 24 -3, p.151 – 158.

SOUZA, W. F. L. (D); KNOPPERS, B.; BALZER, W.; LEIPE, T. 2003. **Geoquímica e fluxos de nutrientes e ferro e manganês à costa Leste do Brasil.** Geochimica Brasiliensis 17: 130-144

SOUZA, W.F.L. (D); KNOPPERS, B. 2003. **Fluxos de água e sedimentos à costa Leste do Brasil: relações entre a tipologia e pressões antrópicas.** Geoquímica Brasiliensis.

SOUZA-LIMA, W. 2006. **Litoestratigrafia e evolução tectono-sedimentar da bacia de Sergipe-Alagoas.** Folheto informativo da Fundação paleontologica Phoenix, nº 90, 1-6.

SRH-SE. 2004. **Recursos Hídricos do Estado de Sergipe.** Secretaria de Recursos Hídricos, estado de Sergipe. CD-ROM

SUGUIO, K., 1973. **Introdução à Sedimentologia.** São Paulo, Edgard Blüncher, Ed. Da Universidade de São Paulo.

SUMMERHAYES, C. P.; COUTINHO, P. N.; FRANÇA, A. M. C.; ELLIS, J. P. 1975. **Upper continental margin sedimentation off Brazil. Part III. Salvador to Fortaleza, Northeastern Brazil.** Contr. Sedimentology, Stuttgart. (4):44-78.

SUMMERHAYES, C. P.; FAINSTED, R.; ELLIS, J. P. 1976. **Continental margin off Sergipe- Alagoas, northeastern Brazil: a reconnaissance geophysical study of morphology and structure.** Marine Geology, 20:345-361.

SYVYTSKI, J. P. M.; VÖRÖSMARTY, C.J.; KETTNER, A. J.; GREEN, P., 2005. **Impacts of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean.** Science 308: 376-380

TINTELNOT, M., 1996. **Late quaternary changes on the NE- continental margins revealed by Clay mineral and calcium carbonate fluctuations.** In: EKAU, W; KNOPPERS, B. Eds. Joint Oceanographic Projects –JOPS II Cruise Report and First Results. Center for Marine Tropical Ecology, Bremen. Pp.104-116.

TUNDISI, J. G.; ROCHA, O.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; BRAGA, B., 1998. **Reservoir management in South America.** World Water Developments 14 (2): 141-145.

UFS/PETROBRAS, 2004. **Monitoriamento da plataforma continental dos estados de Sergipe e Alagoas sob influencia das atividades petrolíferas.** (coord. ARAÚJO), Relatório técnico. Contrato nº 120.2053.01-7 FAPese/PETROBRÁS e convênio nº 08/2001 FAPese/UFS.

VILLWOCK, J. A., 1994. **A Costa Brasileira: Geologia e Evolução.** Notas Técnicas. Porto Alegre. (7):38-49.

VÖRÖSMARTY, C. J.; DOUGLAS, E. M.; GREEN, P. A.; REVENGA, C., 2005. **Geospatial indicators of emerging water stress: An application to Africa.** Ambio 34: 230-236.

VÖRÖSMARTY, C. J.; SAHAGIAN, D., 2000. **Anthropogenic disturbance of the terrestrial water cycle.** Bioscience 50(9): 753-765.

WCD (WORLD COMMISSION ON DAMS) (2000). **Dams and Development: a new framework for decision-making.** Thanet Press, USA, 399 p.

WENTWORTH, C.K., 1922. **A escale of grade and class terms for clastic sediments.** Journal of Geology 30: 377–392.

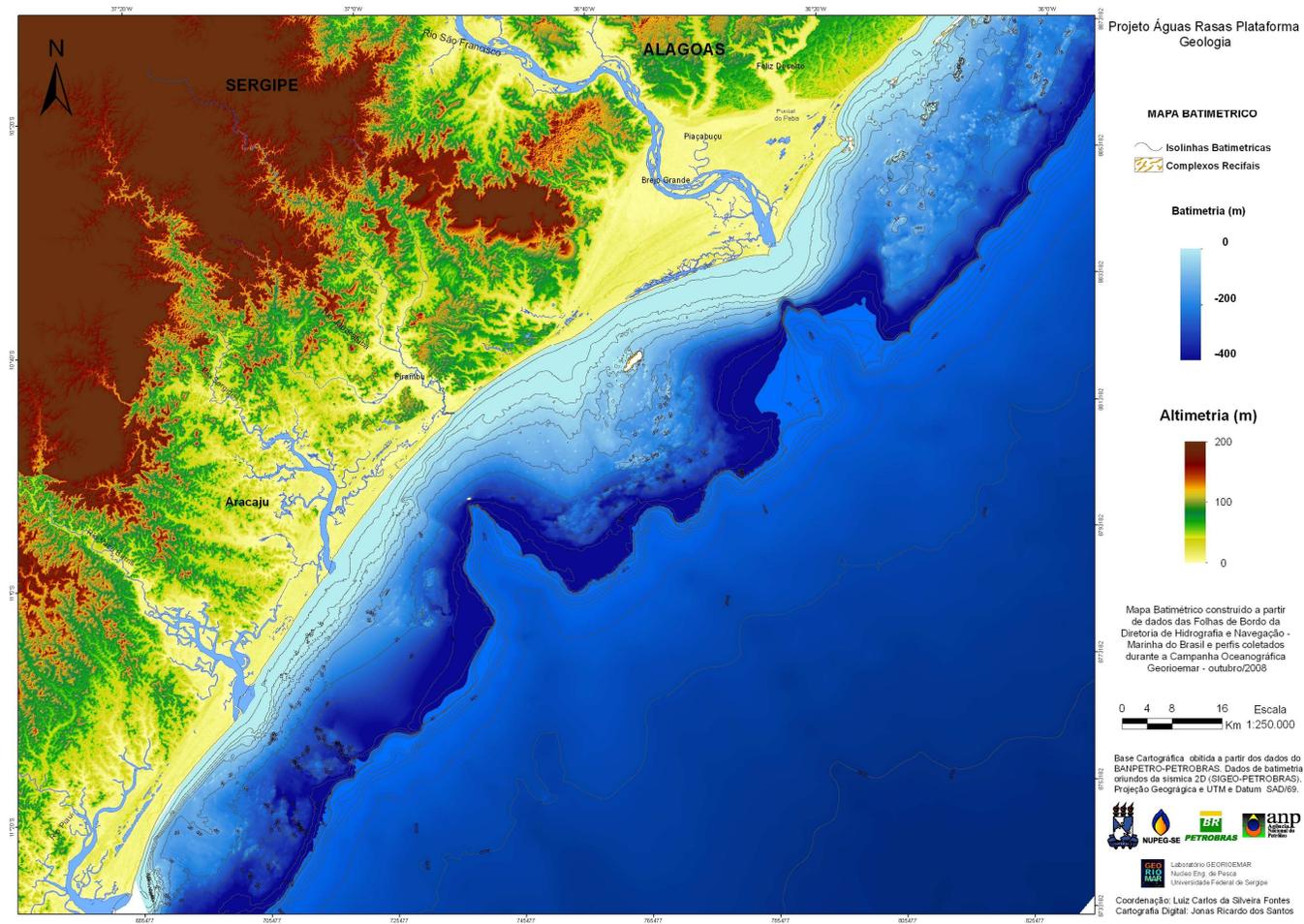
WERNECK, J. E. F; SANTOS, P. M. C.; CHAVES, A. G. M.; SCILEWSKI, L. R., 2001. **Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio São Francisco.** Embrapa, ANEEL-ANA, Planaltina, DF. 108p.

ZEMBRUSKY, S. G.; BARRETTO, H. T.; PALMA, J. C.; MILLIMAN, J. D. 1972. **Estudo preliminar das províncias geomorfológicas da margem continental brasileira.** In: Congr. Bras. Geol., 26, Belém, 1972. *Anais.* São Paulo, SBG, 1972. 3 v. v.2, p. 187-209.

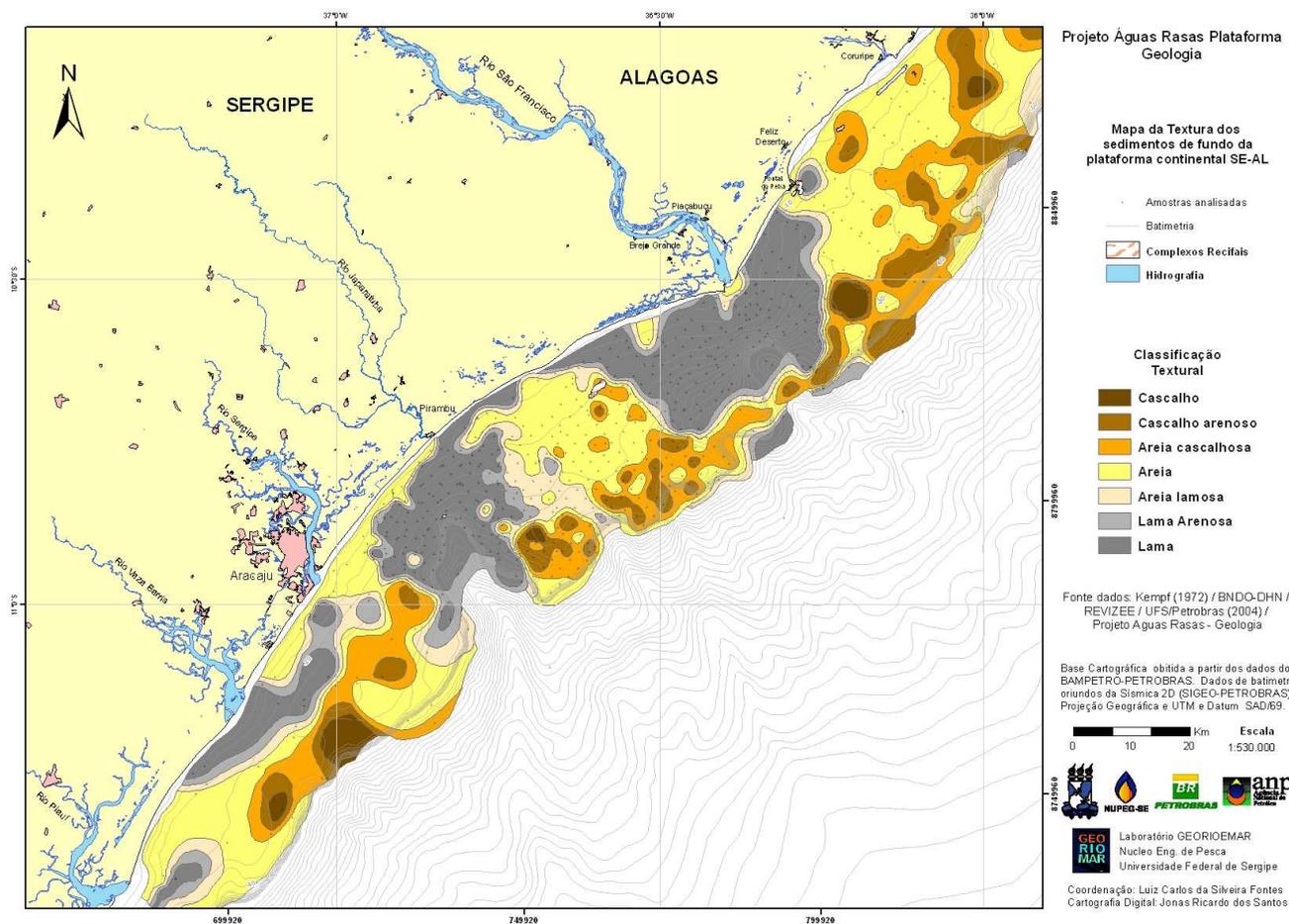


## X. ANEXOS

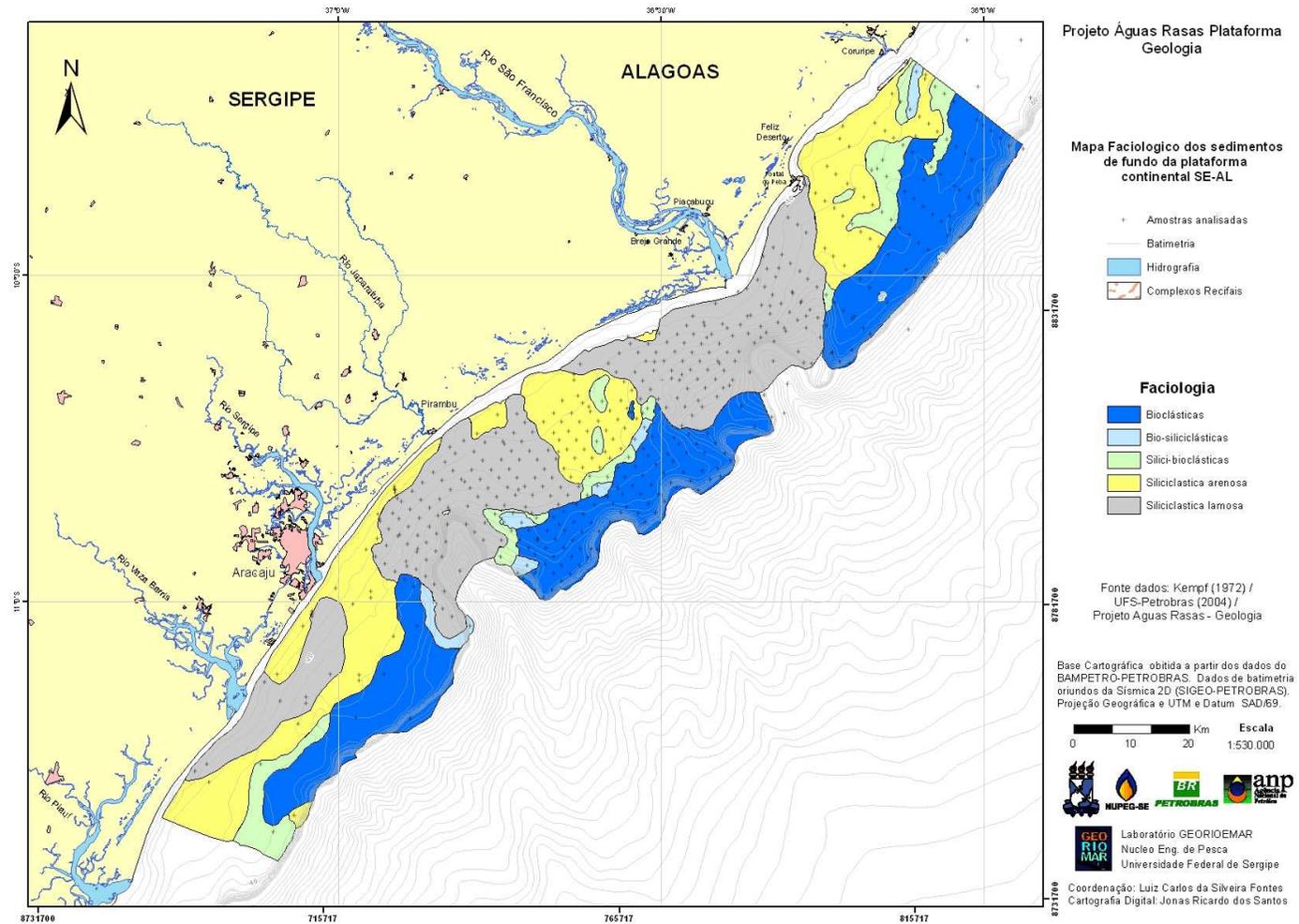
# ANEXO 1



## ANEXO 2



### ANEXO 3



## XI. EQUIPE TÉCNICA

### ***EQUIPE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE***

CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE

NUCLEO DE ENGENHARIA DE PESCA

LABORATÓRIO GEORIOEMAR

### ***RELATORES***

Luiz Carlos da Silveira Fontes - Coordenador

Jonas Ricardo dos Santos

João Bosco Souza Mendonça

Marciléia Silva dos Santos

César Henrique Barreto

Landerlei Almeida Santos

Valéria Cristina Evangelista dos Santos

(UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE)

### ***CONSULTORES***

Alberto Garcia Figueiredo Jr

Bastiaan Adriaan Knoppers

(UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE)

Edgardo Manuel Latrubesse

(UNIVERSITY TEXAS-USA)

José Cândido Stevaux

(UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ-PR E UNESP)

## **EQUIPE PETROBRAS**

### **COLABORADORES**

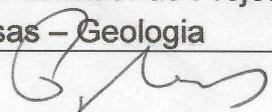
Maria Eulália Rocha Carneiro – Coordenadora

Daniel Leite Moreira

(PETROBRAS/CENPES)

Simone Schreiner

(PETROBRAS/EP)

<b>Profissional</b>	Luiz Carlos da Silveira Fontes
<b>Universidade</b>	Universidade Federal de Sergipe
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	128.874.634-20
<b>Responsável pela(s) Seção(ões)</b>	Coordenador do Projeto Águas Rasas – Geologia
<b>Assinatura</b>	

<b>Profissional</b>	Maria Eulália Rocha Carneiro
<b>Empresa</b>	PETROBRAS/CENPES
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	CRB 2N 12.879/02-D
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	CTF IBAMA 21 16.330
<b>Responsável pela(s) Seção(ões)</b>	Coordenação Geral Projeto Águas Rasas – Geologia
<b>Assinatura</b>	